

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Hadj Lakhdar de Batna

Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle



Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle (LRPI)

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de:

MAGISTER

en

Hygiène et Sécurité Industrielle

Option: Gestion des risques

Présenté par

SLIMANI ABDELKARIM

Ingénieur d'Etat en Hygiène et Sécurité Industrielle

**Contribution à L'Etude de l'Apport des SIG dans la
Gestion des Risques Générés par les Canalisations de
Transport des Hydrocarbures en Algérie**

Mémoire dirigé par Pr.BAHMED Lylia

Soutenu le.....2012.

Devant le Jury

<i>Mr SRAIRI Kamel</i>	<i>Professeur à l'Université de Biskra</i>	<i>Président</i>
<i>Mme BAHMED Lylia</i>	<i>Professeure à l'Université de Batna</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>Mme SAIDANI SCOTT Hind</i>	<i>Maître de Conférences (A) à l'Université de Bristol (Angleterre)</i>	<i>Co-Rapporteur</i>
<i>Mr NAÏT SAÏD Nasreddine</i>	<i>Professeur à l'Université de Batna</i>	<i>Examineur</i>

Dédicaces

A la mémoire de ma chère mère.

*A mon père qui a attendu avec patience l'achèvement de ce travail.
Que dieu le préserve une longue vie pleine de santé et de joie.*

A ma très chère femme.

A mes très chères sœurs.

A mes très chers frères Mouloud et Hocine.

A mes très chers neveux.

A mes très chères nièces.

*A mon beau père, ma belle mère, mes beaux frères et mes belles
sœurs*

A mon très cher ami Djilali.

A tous mes amis.

A toute la famille FELKAOUI et SLIMANI.

Remerciements

Tout d'abord, louange à « Allah » qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long du travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aura pas abouti.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude, mes respects et mes plus vifs remerciements à ma Directrice de recherche Madame BAHMED Lyliá, Professeur en sécurité industrielle à l'université El Hadj Lakhdar de Batna, d'avoir accepté la lourde tâche de rapporteur et d'avoir consacré un temps précieux à l'examen de ce manuscrit. Je la remercie aussi pour toute la confiance qu'elle a su me porter, et pour la patience et pour ses encouragements dont elle a fait preuve à mon égard. Ses conseils et remarques constructives m'ont permis d'améliorer grandement la qualité de mes travaux et de ce mémoire.

Je remercie vivement et j'exprime ma profonde reconnaissance à mon Co-encadreur Madame SAIDANI SCOTT Hind, Maître de Conférences, pour sa patience, ses conseils, ses efforts, et ses encouragements dont elle a fait preuve à mon égard.

J'adresse mes vifs et sincères remerciements à Monsieur CHACHA Djilali (Université d'Alger), à Madame OUZRAOUI Noura (Université de Batna), Docteur ABDELOUAHAB Hassane et BOUCHAREB Aissam (Groupement Sonatrach-Agip), pour leurs précieuses aides et encouragements.

Je ne dois jamais oublier le soutien et l'aide de mes proches qui ont toujours été présents auprès de moi dans les bons comme dans les moments difficiles. Merci à tous.

Enfin, mes remerciements particuliers vont à ma femme, compagne de ma vie, qui m'encourage toujours, partage mes doutes comme mes avancées. Ses précieuses remarques et pensées me soutiennent dans mon travail. Merci.

Table des matières

Liste des figures	VI
Liste des tableaux	VII
Liste des abréviations	VIII
Introduction générale	01
1. Problématique.....	02
2. Hypothèses de recherche et objectifs de l'étude.....	02
3. Organisation du mémoire.....	04
Chapitre I: Etat de l'art de la gestion des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation et prise de décision	
Introduction	07
I.1. Transport des hydrocarbures par canalisation	07
I.1.1. Système de transport des hydrocarbures par canalisation.....	07
I.1.2. Réseau de transport des hydrocarbures par canalisation Algérie.....	09
I.2. Cadre institutionnel et législatif	10
I.2.1. Institution Algériennes	12
I.2.2. Dispositions réglementaires.....	13
I.3. Accidentologie	15
I.3.1. Sources de données d'accident par canalisation.....	15
I.3.2. Historiques des accidents catastrophiques survenus sur les canalisations de transport des hydrocarbures.....	16
I.4 Analyse des accidents	17
I.4.1. Répartition des accidents selon le type de relâchement.....	17
I.4.2. Répartition des accidents selon la cause de type de relâchement.....	18
I.4.3. Répartition des accidents en fonction des causes.....	20
I.4.4. Evolution et répartition des accidents en fonction de type de causes.....	21
I.4.5. Répartition des accidents en fonction des effets.....	22
I.4.6. Répartition des accidents en fonction des conséquences par type de produit.....	24
1.5 Etat de l'art des travaux de recherche relatifs au thème de recherche	26
I.5.1. Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipeline.....	26

I.5.2. Accident occurrence evaluation in the pipeline transport of dangerous goods.....	26
I.5.3. Improving pipeline risk model by using data mining techniques.....	27
I.5.4. Decision analysis framework for risk management of crude oil pipeline system.....	27
I.5.5. Aspects of risk analysis associated with major failures of fuels pipelines.....	27
I.5.6. Natural hazard database application: a tool for pipeline decision makers.....	27
I.5.7. Risk analysis of natural gas pipeline: case study of generic pipeline.....	28
I.5.8. A multi-criteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRI TRI integrating utility theory.....	28
I.5.9. Apport des systèmes d'information géographique dans la gestion du réseau de transport des hydrocarbures.....	28
I.5.10. Report corrib onshore pipeline QRA/Schell E&P Ireland Ltd	28
I.5.11. Projet rabaska, analyse des risques technologiques, gazoduc.....	29
I.5.12. Projet gazoduc gk3-48'' ; Hassi R'mel –Mechtatine, Lots I et II.....	29
Conclusion	30

Chapitre II: Modèle d'évaluation quantitative des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation

Introduction	33
II.1. Approche de l'évaluation des risques liés au transport des hydrocarbures	33
II.1.1. Approche qualitative.....	33
II.1.2. Approche semi-quantitative.....	33
II.1.3. Approche quantitative.....	34
II.2. Méthodologie de gestion des risques liés aux canalisations	34
II.2.1. Préparation et sélection des données.....	35
II.2.2. Sectionnement ou segmentation de la canalisation.....	35
II.2.3. Système d'information géographique.....	36

II.2.3.1 Définition du SIG.....	36
II.2.3.2. Composants du SIG.....	37
II.2.3.3 Mise en place de SIG.....	40
II.2.4. Evaluation quantitative des risques (QRA).....	41
II.2.5. Prise de décision.....	50
II.2.6. Mesures compensatoires.....	52
Conclusion	53

Chapitre III : Etude de cas : élaboration d’une cartographie des risques par le SIG (cas de SONATRACH)

Introduction	56
III.1. Description de l’ouvrage	56
III.1.1. Description du projet.....	56
III.1.2. Délimitation de la zone d’étude.....	57
III.1.3. Profil du tracé Gk3.....	58
III.1.4. Caractéristique du gazoduc.....	59
III.1.5. Caractéristique du gaz naturel transporté.....	60
III.1.6. Condition exploitation du gazoduc.....	60
III.2. Description de l’environnement	61
III.2.1. Condition météorologique.....	61
III.2.2. Température.....	61
III.2.3. Les vents	61
III.2.4. La population.....	62
III.3 Analyse de risque	62
III.3.1. Identifications des scénarios d’accidents majeurs	62
III.3.2. Résultat de l’analyse HAZID.....	63
III.3.3. Scénario de référence	68
III.3.4. Probabilité d’occurrence de l’événement	68
III.3.5. Fréquence d’occurrence des conséquences.....	68
III.3.6. Analyse des conséquences des événements.....	71

III .3.6.1 Données de la modélisation.....	72
III .3.6.2 Résultat de la modélisation.....	73
III.3.7. Discussions des résultats.....	73
III.3.7.1 Résultat concernant ‘la concentration de gaz’.....	73
III.3.7.2 Résultat concernant ‘la radiation de feu de chalumeau’.....	74
III.3.7.3 Résultat concernant ‘le VCE’.....	75
III.3.7.4 Résultat concernant ‘le feu de flash’.....	76
III.3.8. Utilisation d’ArcGIS10.....	76
III.3.8.1 Les données de base.....	77
III.3.8.2 Différentes étapes de travail.....	77
III.3.9. Représentation des résultats de PHAST par ArcGIS.....	79
III.3.9.1 L’effet “feu de flash” (flash fire).....	79
III.3.9.2 Feu de chalumeau.....	80
III.3.9.3 VCE.....	81
III.3.9.4 Feux de forêts.....	83
III.3.9.5 Gestion des interventions.....	84
Conclusion.....	85
Chapitre IV : Etude de l’apport des SIG dans la gestion des risques lies a la canalisation de transport des hydrocarbures	
Cas canalisation gk3 de l’activité TRC- de SONATRACH	
Introduction.....	87
IV.1 Flexibilité de la gestion des données liées à la canalisation Gk3.....	87
IV.1.1 Intégration des données.....	87
IV.1.2 Présentation des données.....	88
IV.1.3 Modélisation.....	88
IV.2 Gestion de la planification et le développement urbain.....	89

IV.2.1	Planification urbaine.....	89
IV.2.2	Développement urbain.....	90
IV.3	Gestion des urgences.....	91
IV.3.1	Planifications des urgences.....	91
IV.3.2	Optimisation de la réponse aux urgences.....	92
IV.4	Gestion de l'intégrité des canalisations	93
IV.4.1	Gestion de la corrosion.....	93
IV.4.2	gestion de tiers partis.....	94
IV.4.3	Amélioration de l'entretien des canalisations.....	95
IV.5	Optimisation des efforts (capacité) de contrôle des autorités	95
IV. 5.1	Amélioration de la vérification des canalisations	95
IV. 5.2	Meilleure réponse aux enquêtes publiques.....	95
IV. 5.3	Réduction des visites de vérifications sur le champ.....	96
IV.6	Optimisation des coûts.....	96
IV.6.1	Diminution des pertes de produits.....	96
IV. 6.2	Diminution des dommages du matériel.....	97
IV.7	Gestion de l'impact environnemental.....	97
Conclusion.....		99
Conclusion générale.....		100
Références bibliographiques.....		104
Annexe (I)	Glossaires terme et définitions.....	112
Annexe (II)	Etape de réalisation de la modélisation (canalisation Gk3) par le logiciel PHAST.....	116
Annexe (III)	Accidents survenus dans le monde de transport des hydrocarbures par canalisation.....	121

Liste des figures

Fig. (I.1):	Système de transport des hydrocarbures par canalisation.....	09
Fig. (I.2):	Evolution des textes réglementaires internationaux et algériens.....	11
Fig. (I.3):	Relation entre le fonctionnement des institutions.....	12
Fig. (I.4):	Répartition des accidents par type de relâchement.....	18
Fig. (I.5):	Répartition des accidents selon la cause de type de relâchement.....	19
Fig. (I.6):	Repartition des accidents par cause.....	20
Fig. (I.7):	Evolution des causes d'accident par decennie.....	21
Fig. (I.8):	Répartition des accidents par type d'événement.....	23
Fig. (I.9):	Arbre d'événement représentant une fuite de gaz.....	24
Fig. (I.10):	Conséquence des accidents par type de produit.....	25
Fig. (II.1):	Modèle d'évaluation des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation basée sur le SIG.....	34
Fig. (II.2):	Architecture d'un système d'information géographique.....	37
Fig. (II.3):	Composantes d'un système d'information géographique.....	37
Fig. (II.4):	Couches d'un système d'information géographique.....	39
Fig. (II.5):	Mise en place d'un système d'information géographique.....	40
Fig. (II.6):	Structure d'une QRA.....	42
Fig. (II.7):	Evaluation des causes et conséquences de défaillance des canalisations par la combinaison du SIG et QRA.....	44
Fig. (II.8):	Les différentes phases du processus d'aide à la décision (adapté).....	51
Fig. (III.1):	Profil du tracé de GK3/Guelma 93km.....	59
Fig. (III.2):	Arbre d'événement de la rupture de GK3.....	70
Fig. (III.3):	Concentration de gaz modélisée par le PHAST.....	74
Fig. (III.4):	Intensité de radiation de feu de chalumeau modélisée par le PHAST.....	75
Fig. (III.5):	Distance d'une explosion retardée modélisée par le PHAST.....	75
Fig. (III.6):	Distance d'un feu de flash modélisée par le PHAST.....	76
Fig. (III.7):	Population exposée aux effets de feu de flash /ville Ain Larbi par ArcGIS...	80
Fig. (III.8):	Population exposée aux effets de feu de chalumeau /ville Ain Larbi par ArcGIS	81
Fig. (III.9):	Population exposée aux effets de VCE /ville Ain Larbi par ArcGIS	83
Fig. (III.10):	Forêts exposées aux risques liés à la canalisation Gk3 par ArcGIS	84
Fig. (III.11):	Chemin le plus court avec network analyst. ArcGIS	84
Fig. (IV.1):	Zones en conflit avec le développement urbain par ArcGIS	90
Fig. (IV.2):	Simulation des zones urbanisables par ArcGIS	91
Fig. (IV.3):	Secteurs d'intervention et gestion des urgences par ArcGIS	92
Fig. (IV.4):	Chemins d'intervention les plus courts par ArcGIS	93
Fig. (IV.5):	Visualisation du risque de la corrosion sur la canalisation par ArcGIS	94
Fig. (IV.6):	Emplacement des vannes de sectionnement sur la canalisation Gk3.....	96
Fig. (IV.7):	Vulnérabilité des forêts le long du tracé par ArcGIS.....	98
Fig. (IV.8):	Forêts exposées au risque de pipeline Gk3 par ArcGIS	98
Fig. (AII.1):	Données du méthane retenues pour la modélisation par PHAST.....	116
Fig. (AII.2):	Scénario retenu pour la modélisation par PHAST.....	117
Fig. (AII.3):	Données de la canalisation retenues pour la modélisation par PHAST.....	118
Fig. (AII.4):	Seuils de radiations retenus pour la modélisation par PHAST.....	119
Fig.(AII.11):	Données météorologiques retenues pour la modélisation par PHAST.....	120

Liste des tableaux

Tab. (I.1) :	Données du réseau de transport par canalisation fournies par TRC.....	10
Tab. (I.2) :	Répartition des accidents selon le type de relâchement.....	18
Tab. (I.3) :	Répartition des accidents selon la cause de type de relâchement.....	18
Tab. (I.4) :	Repartition des accidents en fonction des causes.....	20
Tab. (I.5) :	Répartition des accidents en fonction de type de causes.....	21
Tab. (I.6) :	Répartition des accidents en fonction des effets.....	22
Tab. (I.7) :	Répartition des accidents en fonction des conséquences.....	24
Tab. (II.1) :	Formules utilisées pour le calcul des conséquences par le logiciel PHAST.....	46
Tab. (II.2) :	Fréquence de défaillance première [1000 km.an].....	48
Tab. (II.3) :	Matrice de risque –SONATRACH.....	49
Tab. (II.4) :	Niveaux de risques.....	49
Tab. (III.1) :	Commune du passage de trace.....	58
Tab. (III.2) :	Caractéristiques de la canalisation de transport Gk3.....	59
Tab.(III.3) :	Caractéristiques du gaz naturel transporté par GK3.....	60
Tab. (III.4) :	Paramètres d'exploitation du gk3.....	61
Tab.(III.5) :	Température moyenne de la wilaya de Guelma.....	61
Tab. (III.6) :	La vitesse moyenne du vent.....	61
Tab.(III.7) :	RGPH de la wilaya de Guelma.....	62
Tab.(III.8) :	Résultat de l'analyse HAZID.....	64
Tab.(III.9) :	Scénario retenu pour l'étude.....	68
Tab.(III.10) :	Fréquence de défaillance pour les canalisations.....	68
Tab. (III.11) :	Probabilité d'ignition en une minute.....	69
Tab.(III.12) :	Evénements redoutés.....	70
Tab.(III.13) :	Criticités des événements redoutés.....	71
Tab.(III.14) :	Matrice de décision.....	71
Tab.(III.15) :	Donnée de la modélisation du scénario retenu.....	72
Tab.(III.16) :	Population exposée aux effets de radiations (feu de flash).....	79
Tab.(III.17) :	Population exposée aux effets de radiations (feu de chalumeau).....	81
Tab. (III.18) :	Villes exposées aux effets de surpression (VCE).....	82
Tab.(III.19) :	Conséquences des effets explosions /incendie sur les forêts.....	83
Tab. (AII.1) :	Seuil de référence pour les effets de radiations.....	118
Tab. (AII.2) :	Seuil de référence pour les effets de surpression.....	119

Liste des abréviations

AHP	Analytical Hierarchy Process.
ALARP	As Low As Reasonably Practical.
ALNAFT	Agence Nationale de la Valorisation des Ressources en Hydrocarbures.
API	American Petroleum Institute.
APR	Analyse Préliminaire des Risques.
ARH	Agence de Régulation des Hydrocarbures.
ARIA	Analyse Recherche et Information sur les Accidents.
BARPI	Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions.
BST	Bureau de la Sécurité des Transports.
CONCAWE	Conservation of Clean Air and Water in Europe.
CTTMD	Comité Technique du Transport de Matières Dangereuses.
SIG	Système d'Information Géographique.
D_{éq}	Diamètre équivalent.
DE	Décret Exécutif.
DEW	Direction de l'Environnement de Wilaya.
DNV	Det Norske Veritas.
DOT	Department of Transportation.
EDD	Etude de dangers.
EGIG	Européen Gas Incident Group.
EIE	Etude d'impact environnemental.
ESRI	Environmental Science Research Institute.
GEM	Gazoduc Enrico Mattei.
GNL	Gaz Naturel Liquifié.
GPDF	Gazoduc Pedro Duran Farel.
GPL	Gaz Pétrolier Liquéfié.
hab	Habitant.
HAZID	HAzad Identification.
HAZOP	HAzard and OPerability Study.
HC	Hydrocarbure.
HCE	Haut Conseil de l'Environnement.
hec	Hectare.
HSA	Hand Switch Alarm.
IGE	Inspection Générale de l'Environnement.
ISO	International Standard Organisation.
KM	Kilomètre.
LII	Limite Inferieure d'Inflammabilité.
LSI	Limite Supérieure d'Inflammabilité.
MATET	Ministère d'Aménagement du Territoire de l'Environnement et du Tourisme.
MEM	Ministère des Energies et des Mines.
MTEP	Millions de tonnes équivalent pétrole.
NTSB	National Transportation Safety Board.
ONS	Office National de Statistique.
OPS	Office of Pipeline Safety.
P.C	Poste de Coupure.
PDAU	Plan d'Aménagement Urbain.
PHAST	Process Hazard Analysis Software Tool.
PII	Plan d'Intervention Interne.

PK	Point kilométrique.
POS	Plan d'Occupation du Sol.
P.P	Point de Purge.
P.S	Poste de Sectionnement.
PSV	Pressure Shutdown Valve.
QRA	Quantitative Risk Analysis.
SGS	Système de Gestion de Sécurité.
SONATRACH	Société Nationale pour la Recherche, la Production, le Transport, la Transformation, et la Commercialisation des Hydrocarbures.
SPA	Société Par Action.
STC	Station de Compression.
TNT	TriNitroToluène.
TRC	TRansport par Canalisation.
UDM	Unified Dispersion Modelling.
UK	United Kingdom.
UKOPA	UK Onshore Pipelines Operator's Association.
UTM	Universal Transvers Mercator.
VCE	Vapour Cloud Explosion.
WGS	World Geodetic System 1984.

Introduction générale

L'augmentation de la demande d'énergies telles que le gaz et le pétrole nécessite de plus en plus la maîtrise de la conception, la construction et l'exploitation des moyens de transport, dont la canalisation. En effet, ces dernières sont devenues durant ces 50 dernières années le moyen d'acheminement le moins coûteux pour de grandes quantités d'énergies et sur des longues distances (plusieurs centaines voire plusieurs milliers de kilomètres).

Quel que soit l'endroit que la canalisation traverse (mer ou terre), cette dernière est toujours exposée aux risques d'endommagements que ce soit par des interférences externes ou environnementales (ALLOUTI, 2010) avec l'occurrence des risques majeurs (incendie, explosion, fuite de produits polluants). Celles-ci ont abouti à l'élaboration de méthodes plus globales, systématiques et sophistiquées de l'ingénierie de sécurité, telles que, l'analyse des risques et évaluation des risques pour améliorer l'intégrité, la fiabilité et la sécurité des opérations d'hydrocarbures. Mais malgré, ce développement, les risques continuent à faire des bilans lourds en matière de conséquences néfastes, pour différentes raisons, telles que la difficulté d'exploiter les informations relatives aux réseaux de transport qui s'étendent sur des distances très longues et passent par des géographies très variées, l'absence des échanges techniques permanents entre les sociétés exploitant les canalisations en matière de sécurité concernant le matériel, la prévention des accidents et les leçons à tirer des accidents survenus dans le monde (VALIN & al, 2008), la difficulté de localiser rapidement l'occurrence de ces risques afin de minimiser les dégâts.

Ainsi, les décideurs souhaitent confronter ces problèmes complexes avec le maximum d'éléments objectifs et prendre leur décision en tenant compte des intérêts de toutes les parties prenantes. Ces éléments doivent leur permettre de choisir rationnellement la meilleure solution, d'être en mesure d'expliquer et de justifier leur choix (URBANI, 2006). Pour répondre aux exigences liées à l'exploitation des réseaux de transport, le développement de l'informatique à travers les systèmes informatiques d'aide à la décision et les liens qui existent entre la modélisation du problème et l'aide à la décision a entraîné des modifications importantes pour la géographie et la cartographie, la production de données, le traitement des données localisées, la saisie numérique des données graphiques, cartes et plans, avec les systèmes de gestion de bases de données et les capacités de stockage des systèmes informatiques (SOURIS, 2002).

Notre travail de recherche s'inscrit dans ce contexte afin d'étudier et de mettre en exergue l'apport des systèmes d'information dans la gestion des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisations. Par conséquent, nous nous proposons d'examiner l'apport présenté par la combinaison de la modélisation du problème (conséquences) et l'aide à la décision (par les SIG), ce qui nous permettra de développer une nouvelle méthodologie de la gestion des risques spécifique au transport des hydrocarbures par canalisation basée sur les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG).

1. Problématique :

De nombreux accidents technologiques survenus dans le monde sont en relation avec le transport des hydrocarbures et l'apparition de technologies de plus en plus complexes, et cela, dans un contexte de gestion difficile des dangers engendrés.

La localisation et l'identification des risques, la formulation de nouveaux espaces à risques, les vulnérabilités sont, ainsi, devenus des thèmes de recherche importants, mais les solutions à proposer sont loin d'être évidentes.

En Algérie, la gestion classique des risques générés par les canalisations de transport des hydrocarbures présente des lacunes considérables par rapport à une cause principale : *la non-maitrise de l'information*, alors que ce domaine nécessite une maîtrise parfaite de toutes les informations en temps réel et opportun.

Par conséquent, un transporteur d'hydrocarbures tel que SONTARACH doit adopter une politique de prévention des risques basée sur une étude de danger approfondie afin de bien repérer et de contrôler les enjeux humains, matériels et environnementaux.

Cette étude, entrant dans le cadre d'un mémoire de magistère, aborde le thème de l'apport des Systèmes d'Information Géographique dans la gestion des risques, en général, et ceux liés aux canalisations de transport des hydrocarbures en Algérie en particulier, mettant l'accent sur la conception et la mise en œuvre des SIG, en vue d'une bonne maîtrise des risques.

Ce travail de recherche permettra de mettre en exergue l'apport des SIG dans la prise de décisions en gestion des risques au niveau de SONATRACH.

2. Hypothèses de recherche et objectifs de l'étude

Les catastrophes, qu'elles soient naturelles (inondations, incendies de forêt), technologiques (incidents industriels, nucléaires) urbaines (accident de la route, criminalité) ou sanitaires et environnementales (épidémie, pollutions) sont localisées dans une géographie et causent des

dommages sur l'homme, le matériel et l'environnement dont le coût en terme de prévention et insignifiant par rapport à la lourdeur des ces conséquence, la décision prend du temps et sa qualité dépend des sources et de l'exactitude de l'information.

Dans ce cadre d'étude, un intérêt particulier est porté à la gestion des risques générés par le transport des hydrocarbures par canalisation, d'où, plusieurs solutions sont envisagées pour réduire leurs impacts. Ainsi, la modélisation est une des ces solutions adoptées pour évaluer les conséquences et ainsi le besoin de représenter ces conséquences mènent les gestionnaires de risque à utiliser la carte géographique comme outil de localisations et d'identification du risque, puisque 80 % des informations sont à caractère géographique (DROBNE & LISEC, 2009), et il est important de bien les repérer et mieux les maîtriser.

Aujourd'hui, la complexité de la technologie, du tissu urbain, l'immensité du réseau de canalisation et le bilan lourd des incidents et accident au fil des ans (manipulation de base de données de grande taille et de sources d'informations différentes) a révélé l'importance de la maîtrise de l'information utilisée comme donnée pour évaluer le risque et le maîtriser pour informer le publique, les autorités et gestionnaires des installations industrielles, à des fins de prévention et de gestion de crise.

Le développement informatique avec l'avènement des systèmes d'information a facilité la manipulation de l'information en qualité et en quantité (taille de l'information). Le développement numérique est, aussi, une source d'innovation dans la conception des cartes de risque, en particulier, les systèmes d'informations géographiques. Une première hypothèse de recherche se pose et reste à vérifier dans le présent travail : ***Les SIG auraient un apport intéressant dans l'identification, l'analyse et la maîtrise des risques générés par les canalisations de transport des hydrocarbures en Algérie.***

Le propriétaire du réseau de transport des hydrocarbures par canalisation en Algérie, SONATRACH, vise une maîtrise de l'information relative à son réseau pour prendre les décisions optimales en termes de temps et de coût, dans la prise de décision en gestion des risques au niveau de SONATRACH. Une seconde hypothèse de recherche se pose : ***les SIG seraient un très bon outil d'aide à la décision dans le domaine de la gestion des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisations.***

Afin d'aider les gestionnaires de SONATRACH à mieux maîtriser les risques, une nouvelle méthodologie sera proposée. Cette dernière prend en compte la spécificité du réseau de transport par canalisation ainsi que les exigences réglementaires notamment l'arrêté

ministériel du 12/12/92 et les décrets exécutifs N° 06/198, N°08/312, ainsi que la veille technologique caractérisée par l'avènement des SIG qui peuvent aider profondément à l'étude des risques relatifs à ce domaine d'activité.

Le travail réalisé sera limité au territoire de la wilaya de Guelma, et ce, pour les raisons suivantes :

- La disponibilité des données pour répondre aux objectifs de ce travail.
- Le temps alloué à ce travail ne permettant pas d'aller sur tout le tracé malgré son importance.
- La grande quantité d'informations relatives à ce projet.
- L'indisponibilité des données relatives aux wilayas de passage du tracé.

Donc, l'objectif majeur de cette étude est de :

- Proposer une méthodologie de gestion des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation basée sur un modèle d'évaluation bien spécifique par l'utilisation des SIG.
- Montrer l'intérêt de la modélisation comme outil d'évaluation des conséquences des risques liés à la canalisation de transport des hydrocarbures (feu de chalumeau, feu de flash, boule de feu, VCE).
- Montrer l'intérêt de la combinaison de la modélisation et des outils d'aide à la décision (les SIG) dans la prise de décision.
- Montrer l'apport des SIG dans la gestion des risques.
- Montrer la contribution des SIG dans la prise de décision relative aux risques générés par le transport des hydrocarbures par canalisation, en temps réel.

3. Organisation du mémoire

Ce mémoire de Magister s'articule autour des chapitres suivants:

- Le premier chapitre porte intérêt à la définition du système de transport des hydrocarbures par canalisation, à la réglementation régissant ce domaine, à l'étude de l'accidentologie, à l'analyse statistique des accidents et à la revue des travaux de recherches réalisés dans le cadre de ce thème.
- Le deuxième chapitre sera consacré à la proposition d'une nouvelle méthodologie relative à la gestion des risques liés au transport par canalisation, basée sur les systèmes d'informations géographiques.

- Le troisième chapitre porte intérêt à l'évaluation des conséquences des risques liés au transport des hydrocarbures ainsi qu'à leur représentation cartographique par deux logiciels utilisés d'une manière combinée le PHAST et L'ArcGIS.
- Le quatrième chapitre portera sur l'étude de l'apport des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) dans la prise de décision relative à la gestion des risques liés au transport des hydrocarbures.

CHAPITRE I

***ÉTAT DE L'ART DE LA GESTION DES RISQUES
LIES AU TRANSPORT
DES HYDROCARBURES PAR CANALISATION
ET PRISE DE DECISION***

Introduction

Dans le cadre de l'évaluation des risques associés au transport des hydrocarbures par canalisations, l'analyse statistique représente une étape primordiale. Le traitement des bases de données d'accidents permet d'analyser les conditions accidentelles (feu, impact...) (RAFFEESTIN, 1996), afin de maîtriser ce secteur en réduisant l'apparition des accidents dont les conséquences sont catastrophiques sur l'homme, le matériel (installations, infrastructures) et l'environnement.

Nous proposons, dans ce chapitre, de présenter une étude statistique sur un échantillon représentatif de 140 accidents /incidents ayant eu lieu dans le domaine des hydrocarbures. Ces accidents sont recensés par sources sur une période de 1965 à 2011 (DECHY, 2002), (IGS, 2010), (MEDD, 2011), (G.ENV, 2009). Bien que ces organismes publient des statistiques d'accidents de canalisations, celles-ci sont souvent difficilement exploitables, car les données disponibles ne permettent pas de discerner les accidents liés au transport des hydrocarbures par canalisation.

L'ampleur de ces accidents a incité les autorités chargées de la gestion du secteur de transport par canalisations à ériger des institutions de contrôle par des textes réglementaires liés directement au transport des hydrocarbures par canalisation ou en relation avec lui.

Les analyses présentées dans ce chapitre synthétisent l'état et l'évolution des différents paramètres représentatifs d'un accident. Elles illustrent les paramètres suivants :

- L'état de l'environnement accidentel (lieu, ouvrages d'art...).
- Les causes et conséquences de l'accident.
- La répartition d'indicateurs représentatifs de préjudices pour le transport par canalisation (dispersion de gaz toxique, feu) et l'influence de la matière transportée.

Cependant, ces résultats représentent la base de l'identification des scénarii à étudier pour quantifier les effets des conséquences relatives aux risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation.

I.1. Transport des hydrocarbures par canalisation

I.1.1 Système de transport des hydrocarbures par canalisation

Le transport par canalisation est un mode de transport de matières gazeuses, liquides, solides ou poly phasiques, réalisé au moyen de canalisations constituant généralement un réseau ou système de transport.

L'ensemble du système est composé de sous-systèmes qui sont les suivants (BS, 2003):

- **Installation de stabilisation et séparation** (gaz et liquide) : le produit issu des puits passe par un ensemble de phase ou il subira plusieurs traitements, des traitements simples basée sur la stabilisation et la séparation selon la densité des constituants (eau, huile, gaz) du produits ou bien des traitements par des paramètres de procédés (température, pression, débit, niveau..) .Cette phase donnera trois produits : eau, gaz et huile Fig. (I.1).
- **Station de pompage et station de compression** : permettent de mettre la matière transportée à disposition des destinataires intermédiaires ou finaux.
- **Postes de sectionnement** : permettent d'isoler un tronçon de canalisation afin d'assurer sa maintenance ou de limiter les conséquences néfastes en cas de fuite. Ces postes sont parfois équipés de coupure pour introduire et recevoir des pistons (pig en anglais), destinés à contrôler les différents paramètres d'intégrité de la canalisation : géométrie, propreté, perte de métal, fissuration, etc. La distance entre deux postes de sectionnement consécutifs dépend de la réglementation applicable, selon le fluide transporté et le pays concerné. La distance entre deux postes de coupure (ou de demi-coupure) consécutifs varie d'une dizaine de kilomètres pour de courtes antennes ou points spéciaux, à quelques centaines de kilomètres pour de grandes canalisations de transit.
- **Les postes de détente ou postes de régulation** : permettent de diminuer la pression du fluide à l'aval. Ces postes sont, souvent, associés à des postes de livraison. Ils peuvent, aussi, séparer des portions de réseau exploitées à des pressions différentes.
- **Les stations d'arrivée** : marquent l'extrémité d'un réseau de transport. Cela peut être un réservoir de stockage dans une raffinerie pour les opérations de raffinage ou le début d'un réseau aval de transport ou de distribution.

Selon le produit transporté, les canalisations ont des noms ainsi que des réglementations, des techniques de construction et d'exploitation différentes. Les principaux systèmes de transport par canalisation concernent :

- **Le gaz naturel**, transporté par gazoduc ;
- **Les hydrocarbures liquides**, dont surtout le pétrole, transporté par oléoduc.

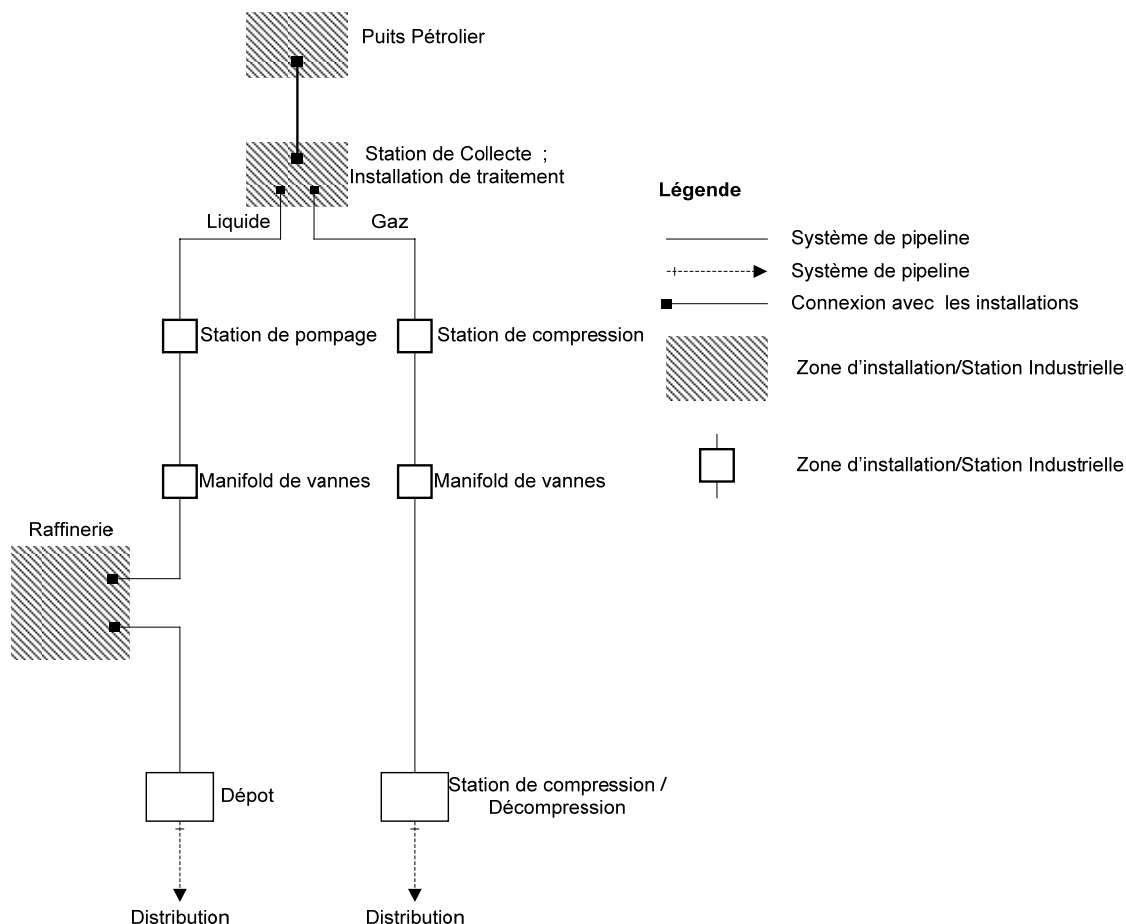


Fig. (I.1): Système de transport des hydrocarbures par canalisation (BS, 2003).

I.1.2 Réseau de transport des hydrocarbures par canalisation en Algérie

Le transport par canalisation constitue le maillon intermédiaire entre l'Amont pétrolier et gazier, les activités Aval de raffinage et de pétrochimie et la commercialisation des hydrocarbures.

L'Algérie dispose d'un réseau de transport par canalisation qui est en charge de l'acheminement des hydrocarbures, de pétrole brut, de gaz, de GPL et de condensat, à partir des zones de production vers les zones de stockage, les complexes GNL et GPL, les raffineries, les ports pétroliers ainsi que vers les pays importateurs.

Les capacités de transport de TRC sont de 341 Millions de tonnes équivalent pétrole (MTEP) (TRC, 2006). TRC dispose de 78 STC d'une longueur de plus de 18 487 km, dont 2 gazoducs destinés à l'exportation du gaz naturel (TRC, 2006) :

- L'un vers l'Italie (via la Tunisie) appelé Gazoduc Enrico Mattei (GEM),
- L'autre vers l'Espagne (via le Maroc) appelé Gazoduc Pedro Duran Farel (GPDF).

Sur les 78 STC dont dispose TRC, 34 sont réservés au pétrole brut, 3 pour le condensat, 9 pour le GPL et 32 pour le gaz naturel (TRC, 2006).

Un programme intensif d'extension du réseau est lancé par TRC. Ce programme portera la longueur totale du réseau à 21 500 km à l'horizon 2012. Un autre programme intensif de réhabilitation des installations existantes est lancé. Il est doté d'une enveloppe de 1 milliard de dollars. Tab. (I.1).

Tab. (I.1) : Données du réseau de transport par canalisation fournies par TRC
(TRC, 2006).

	Longueur Km	Stations (Pompage / compression)	Capacité de transport 10 ⁶ TEP
Pétrole Brut	4969,5	34	147,7
Condensat	1717,7	3	34,8
GPL	3343,5	9	31,7
Gaz naturel	8457	32	127
TOTAL	18487	78	341

Le système de transport par canalisation présente de nombreuses règles de conception, de construction et d'exploitation pour le transport des produits qui sont classés comme produit dangereux. En effet, ces règles techniques ne permettent pas de gérer la totalité des risques que peut présenter la canalisation et ceux qu'elle encourt du fait de son environnement,

De ce fait, en Algérie comme dans le reste du monde, il y a des dispositions réglementaires relatives aux institutions et les différents textes réglementaires pour maîtriser davantage l'aspect de la gestion des risques liés au transport par canalisation.

L'étude de la réglementation algérienne ci-après permet de montrer son évolution ainsi que son insuffisance pour réduire les risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation.

I.2. Cadre Institutionnel et législatif

L'idée de prévention des risques majeurs a immergé suite aux différents accidents apparus dans le domaine de l'industrie. Depuis, le législateur Algérien a élaboré plusieurs lois qui relèvent de la prévention des risques majeurs, la définition et la mise en œuvre des procédures et des règles visant à limiter l'exposition des hommes et des biens aux risques naturels et industriels.

L'apparition des accidents majeurs dans le domaine des hydrocarbures comme l'indique la Fig. (I.2), a accéléré l'avènement des institutions qui jouent le rôle de contrôle des installations de traitement et de transport des hydrocarbures.

Depuis la catastrophe de Seveso en Italie 1976, l'étude d'impact environnemental et celle du danger sont devenues obligatoires en France, ce qui a conduit à la proposition d'une directive européenne pour l'étude de danger renouvelable chaque cinq (05) ans. En Algérie, Les premiers textes relatifs aux EIE ont été créés en 1983 (Loi 83-03), puis le décret exécutif 98-339 relatif à l'étude de danger EDD. Ainsi, l'évolution de la réglementation a été marquée suite à l'accident de GNL-SKIKDA en 2004 et celui du RTE-SKIKDA en 2005. Ces deux accidents ont été la cause de la création d'une série de textes relatifs à la maîtrise du domaine des hydrocarbures qui est un domaine à risques majeurs dont le transport par canalisation fait partie. Fig. (I.2).

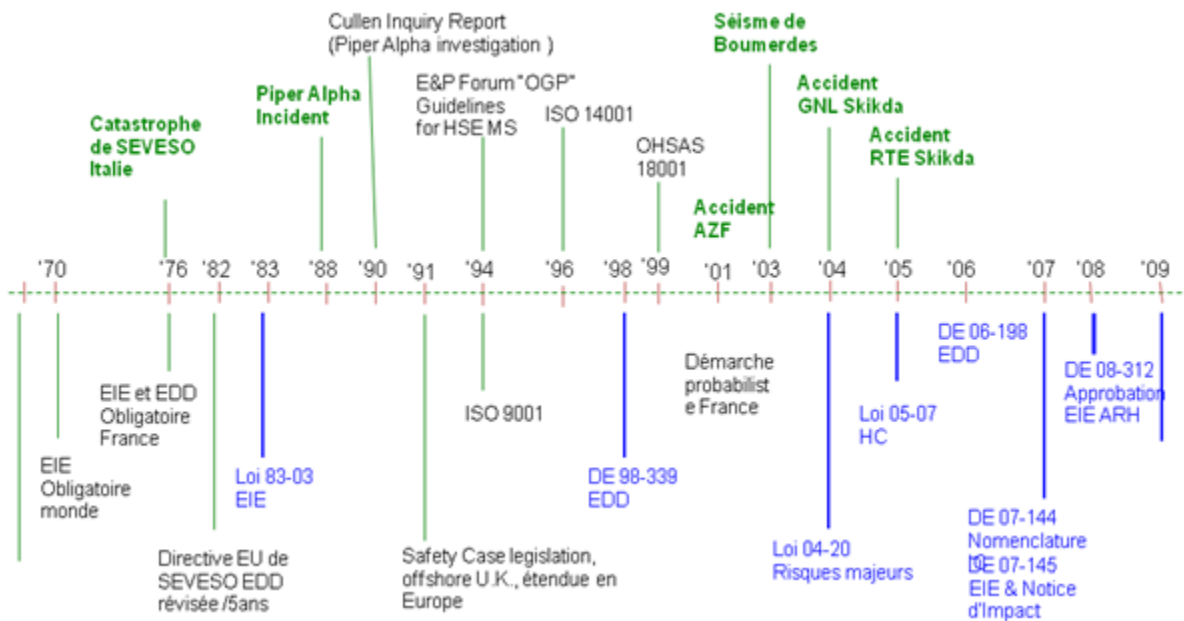


Fig. (I.2): Evolution des textes réglementaires internationaux et algériens
(BOUSOUALEM, 2011)

Ainsi, plusieurs institutions algériennes ont été créées pour veiller au bon fonctionnement des installations industrielles.

I.2.1. Institutions Algériennes

Les principales institutions Algériennes qui veillent à la création, le contrôle et le respect de l'application des textes réglementaires relatifs aux hydrocarbures sont les suivantes :

- Ministère de l'Energie et des Mines (MEM).
- Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Tourisme (MATET).
- Haut Conseil de l'Environnement (HCE).
- L'Inspection Générale de l'Environnement (IGE).
- Direction de l'Environnement de Wilaya (DEW).
- Agence de Régulation des Hydrocarbures (ARH).
- Agence Nationale de la Valorisation des Ressources en Hydrocarbures (ALNAFT).

Ces institutions fonctionnent en relation étroite afin de contrôler les installations existantes et celles en voie de construction surtout entre le Ministère de l'Energie et des Mines représenté par l'Agence de Régulation des Hydrocarbures (ARH) (créée suite à la loi 05-07) et ce de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement et du Tourisme (MATET) représenté par la direction de wilaya concernant l'approbation des études de danger et celles d'impact environnemental, cette relation de fonctionnement est représentée ci-après dans la Fig. (I.3).

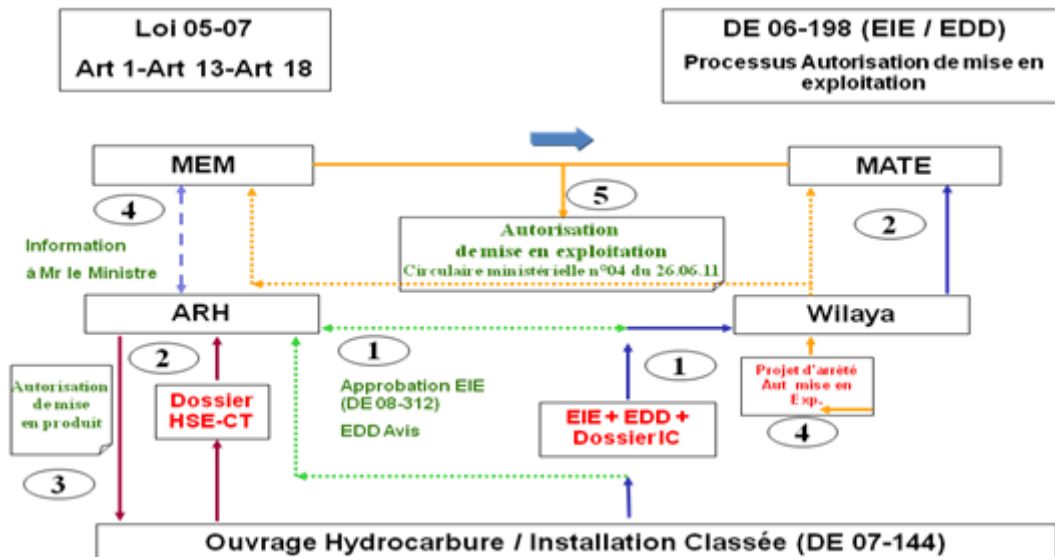


Fig. (I.3): Relation entre le fonctionnement des institutions (BOUSOUALEM, 2011).

I.2.2 Dispositions réglementaires

L'Algérie a suivi l'évolution réglementaire constatée au niveau international. De ce fait, plusieurs textes ont été créés pour réglementer l'activité de transport des hydrocarbures par canalisation. Ces textes ont été répartis entre : lois, décrets, décrets exécutifs, arrêtés. L'application de ces textes a bien contribué à la bonne gestion de ce secteur.

Les textes promulgués et qui sont en relation directe avec le transport par canalisation sont les suivants (SGG Algérie, 2012):

- Décret exécutif N° 07-297 du 27 septembre 2007, relatif à l'autorisation pour construction par canalisation.
- Arrêté interministériel du 12 décembre 1992, portant réglementation de sécurité pour les canalisations de transport d'hydrocarbures liquides, liquéfiés sous pression et gazeux et ouvrages annexes.
- Décret N° 88-35 du 12 février 1988, définissant la nature des canalisations et ouvrages annexes relatifs à la production et au transport d'hydrocarbures ainsi que les procédures applicables à leur réalisation.
- Arrêté ministériel du 23 septembre 2008, portant octroi en concession à l'entreprise nationale SONATRACH-SPA du système de transport par canalisation de gaz.
- Décret exécutif N°90-277 du 15 septembre 1990, portant création, mission, composition et fonctionnement du comité technique du transport de matières dangereuses (C.T.T.M.D.).
- Loi 02- 01 du 5 février 2002, relative à la distribution de gaz.
- Décret N° 90 -245 du 18 août 1990, relatif aux appareils à pression de gaz.
- Loi 05-07 du 28 avril 2005, relative aux Hydrocarbures

Les textes cités ci-dessus sont directement liés au transport des hydrocarbures par canalisations. Néanmoins, il existe des textes qui sont en relation avec la construction, l'exploitation et l'abandon de ces ouvrages que SONATRACH doit les prendre en considération et cela par rapport aux textes législatifs en relation avec :

- l'environnement, les installations classées et la protection de l'environnement.
- les parcs nationaux, les autres espaces protégés, les espèces protégées ou en voie d'extinction.
- les forêts.
- l'urbanisme.

- les zones industrielles et infrastructures.
- l'incendie, secours, risque industriel.
- le patrimoine archéologique et culturel.
- la législation maritime et la problématique liée au littoral.

L'Algérie est signataire d'un grand nombre de protocoles ou conventions internationales. Les projets relatifs à la construction des canalisations de transport des hydrocarbures sont, également, concernés par un certain nombre de textes internationaux.

Discussion :

La réglementation algérienne n'a pas prévu des textes relatifs aux systèmes de l'information intégrés sur le transport par canalisation malgré tous les textes déjà existants liés directement ou en relation avec le transport des hydrocarbures par canalisation, et ce vu son étendu sur un champ d'action important caractérisé par la différence:

- De densité des infrastructures,
- Géologique des sites du passage de tracé,
- Démographique,
- Climatographique.

Cela nous oblige à penser à maîtriser ce flux important d'informations et surtout son évolution afin d'éviter l'apparition des risques qui sont catastrophiques. Donc, nous proposons d'adopter des textes législatifs qui exigent aux transporteurs d'installer un Système d'Information Géographiques (SIG) qui sera lié à l'importance du réseau en question.

Le cadre technique et législatif sera abordé, dans ce qui suit à travers l'étude des différents accidents et incidents survenus dans le monde.

Ainsi, un retour d'expérience a été élaboré suite à l'étude de l'accidentologie du domaine du transport des hydrocarbures par canalisation. Une collecte de bases de données spécifiques à ce domaine a été réalisée (EGIG, UKOPA, ARIA, CONCAWE, etc.). Toutefois, les accidents étudiés, dans ce travail, ont été collectés de sources différentes sur une période entre 1965 et 2011. (DECHY, 2002), (IGS, 2010), (MEDD, 2011), (G.ENV, 2009).

I.3. Accidentologie

I.3.1 Sources de données d'accident par canalisation

Les principales organisations qui réalisent la collecte et la publication des données d'accidents dans le domaine des canalisations d'hydrocarbures sont les suivantes :

- **UKOPA** (UK Onshore Pipelines Operator's Association): une base de données des accidents de canalisations de l'Association des Opérateurs de Canalisations Terrestres du Royaume-Uni, de l'UKOPA. Cette association regroupe les quatre opérateurs principaux de canalisations au Royaume-Uni qui transportent du gaz, des hydrocarbures liquides et d'autres produits sur 20 045 km (DECHY, 2002).

Toutefois, certaines données d'accidents du Royaume-Uni sont reprises par d'autres réseaux de collecte et d'études telles que l'EGIG ou la CONCAWE. (DECHY, 2002).

- **CONCAWE** (Conservation of Clean Air and Water in Europe) : ça concerne les statistiques de l'industrie pétrolière en Europe de l'Ouest sont collectées depuis 1970 et publiées annuellement par la CONCAWE (L'Organisation Européenne des Compagnies Pétrolières pour l'Environnement, la Santé et la Sécurité). (CONCAWE, 2006).

- **EGIG** (European Gas Incident Group) : les données d'accidents de canalisations de gaz naturel sont collectées depuis 1970. (EGIG TEAM, 2008).

- **ARIA du BARPI** (Bureau d'Analyse des Risques et des Pollutions Industrielles) : rattaché au Service de l'Environnement Industriel du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD/DPPR/SEI/BARPI) (MEDD, 2011).

- **BST** (Bureau de la sécurité des transports) : ce bureau publie annuellement un bilan des études, enquêtes, analyses et enseignements, des enjeux de la sécurité des canalisations. (DECHY, 2002).

- **NTSB** (National Transportation Safety Board), US DOT (Département Of Transportation) : les données des accidents de canalisations de gaz naturel et liquides dangereux sont collectées depuis 1970 par l'US DOT. Les enquêtes après accidents sur des canalisations sont menées par le NTSB Les deux organisations publient périodiquement des synthèses de données d'accidents de canalisations ainsi que des rapports d'accidents.

- **OPS** (L'Office of Pipeline Safety) : dispose de tableaux de synthèses statistiques sur les accidents de canalisations (DECHY, 2002).

En Algérie, le reporting des incidents et accidents relatif au transport par canalisation se fait par les compagnies même appartiennent à ce secteur, mais, récemment une nouvelle directive du Ministère de l'Energie et des Mines a obligé ces compagnies de reporter

quotidiennement tous types d'accidents (BOLT, 2006). Ce rapport contient des informations relatives à :

- La nature de l'accident/incident.
- La cause de l'incident.
- Les fatalités et blessés.
- Le dommage matériel et environnemental.
- La source de l'information.

Bien que ces organismes publient des statistiques d'accidents de canalisation, celles-ci sont souvent difficilement exploitables, car les données disponibles ne permettent pas de discerner les informations relatives à chacun des événements qui sont souvent limités.

I.3.2 Historique des accidents catastrophiques survenus sur les canalisations de transport des hydrocarbures

L'étude de l'historique des accidents survenus dans le domaine de transport par canalisation permet de déceler les différents aspects relatifs à l'apparition de ces accidents en terme de cause et effets afin de pouvoir déterminer le savoir-faire pour les réduire et rendre leur criticité acceptable.

L'étude a été focalisée sur 140 accidents (DECHY, 2002), (IGS, 2010), (MEDD, 2011), (G.ENV, 2009), un peut partout dans le monde, et quelques accidents en Algérie. Les statistiques sont assez bien connues, mais notons l'absence d'organisations étatiques qui s'intéressent à la collecte des données statistiques à des fins de retour d'expérience. De ce fait, nous étions contraints de travailler sur des cas d'accident au niveau international pour déduire les conclusions nécessaires relatives aux accidents liés au transport des hydrocarbures par canalisation et ainsi les extrapoler au cas de l'Algérie.

L'étude a été menée sur la détermination des :

- Types de relâchement pour identifier les différents scénarii afin de mener une analyse quantitative de risque.
- Causes qui peuvent donner les mesures organisationnelles et techniques nécessaires pour mieux surveiller les installations de transport.
- Conséquences relatives au transport des hydrocarbures liquides ou gazeux pour déterminer l'impact le plus désastreux, afin de choisir quel type de produit nous devons choisir dans notre étude.

En effet, la revue des cas historiques enregistrés dans les différentes bases de données internationales a montré que les accidents les plus désastreux sont survenus dans le domaine de transport du gaz et ceci est justifié par la nature physico-chimique du gaz et celle du liquide.

Donc, les accidents les plus désastreux sont les suivants (Annexe III) :

- ✓ **Brésil 1984** : à Cubatao –Sao paulo, suite à une rupture d'une canalisation de gaz qui a fait 508 morts.
- ✓ **Pakistan 1984** : Galui dhao, explosion suite rupture d'une canalisation de gaz qui a fait entre 20 et 60 morts.
- ✓ **URSS en 1989** : UFA qui a fait plus de 500 morts.

Les données exploitées dans ce chapitre sont des données triées, spécifiques des accidents sur gazoduc et oléoduc.

L'Annexe III présente un certain nombre de ces accidents ainsi que le détail de leurs causes et conséquences. Ces accidents sont présentés dans les tableaux : Tab. (I.2), Tab. (I.3), Tab. (I.4), Tab. (I.4), Tab (I.5), Tab. (I.6), Tab (I.7), de façon à pouvoir extraire le maximum d'informations sur le retour d'expérience.

En effet, la collecte de ces données nécessite une bonne analyse de ces dernières, permettant de fournir de détails du domaine étudié afin de mettre les dispositions nécessaires pour une bonne maîtrise du risque.

I.4. Analyse des accidents :

L'analyse quantitative des risques est basée sur un retour d'expérience qui prend en compte un ensemble de facteurs tels que : le lieu, les effets, les causes des défaillances, le phénomène de départ et les conséquences engendrées, afin de déterminer les données nécessaires pour alimenter l'analyse quantitative des risques.

Par conséquent, nous proposons une analyse répartie selon les facteurs indiqués ci-dessus pour bien comprendre l'accidentologie liée au transport des hydrocarbures par canalisation.

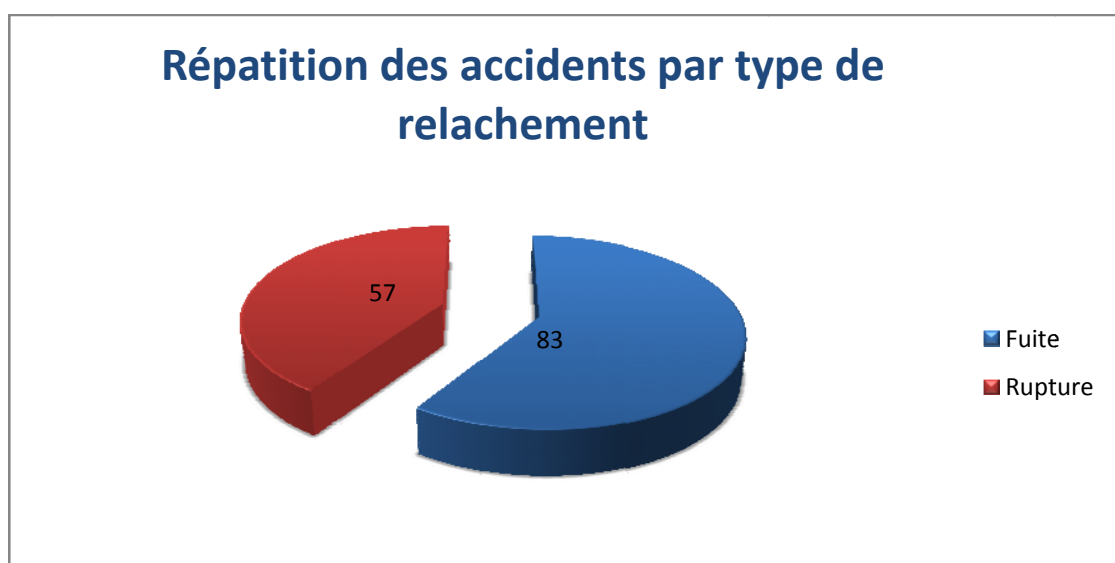
I.4.1 Répartition des accidents selon le type de relâchement

Les types de relâchement lors des défaillances des canalisations de transport sont, généralement, répartis en fuite et rupture, comme le montre le Tab. (I.2).

Tab. (I.2) : Répartition des accidents selon le type de relâchement (Cf, annexe III).

Type de relâchement	Nombre D'accidents	Pourcentage
Fuite	83	59,29 %
Rupture	57	40,71 %

Comme indiqué dans la Fig. (I.4), les fuites et ruptures sont considérés comme les deux types de relâchement les plus fréquents des canalisations de transports par gazoduc et oléoduc, avec un pourcentage de 59,29 % pour les fuites et les ruptures 40,71 %. Cela peut faire l'objet de scénarii d'étude pour une étude quantitative de risque.

**Fig. (I.4): Répartition des accidents par type de relâchement.**

I.4.2 Répartition des accidents selon la cause de type de relâchement

Les données présentées dans le Tab. (I.3) sont extraites de la base de données des accidents relatifs au transport par canalisation, mais avec le but de déterminer le mode de défaillance (fuite, rupture) le plus significatif pour les causes de défaillance de canalisation de transport.

Tab. (I.3) : Répartition des accidents selon la cause de type de relâchement

(Cf,annexe III).

	Tierce partie	Corrosion	Conception	Mouvement de terre	Pression	Inconnue
Fuite	17	35	2	5	12	10
Rupture	35	7	0	5	6	4

La répartition des accidents selon la cause de type de relâchement est bien illustrée dans La Fig. (I.5).

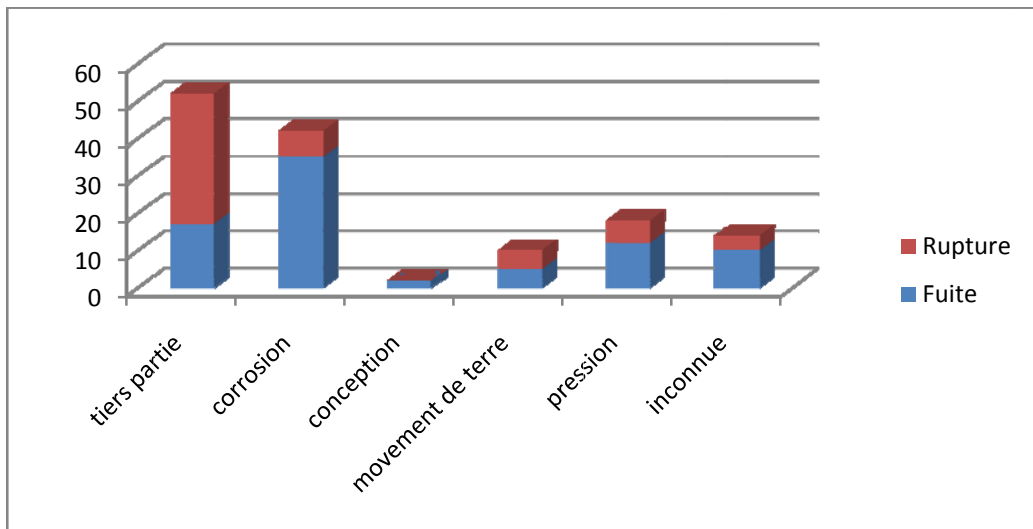


Fig. (I.5): Répartition des accidents selon la cause de type de relâchement.

Nous constatons d'après les données du Tab. (I.3), et du graphe Fig. (I.5), que la rupture de canalisation est importante au niveau de la cause de tierce partie et moins importante pour la corrosion, le mouvement de terre et la pression. Nous signalons que ces phénomènes sont liés à un glissement de terrain qui peut causer une tension sur la canalisation et cela peut entraîner une augmentation de pression et engendrer une rupture par augmentation de pression alors qu'à l'origine, le mouvement de terrain a causé l'augmentation de pression.

Cependant, notons que nous avons observé que le nombre de fuites est assez important pour les tiers. Nous enregistrons que l'origine de la fuite est importante pour la cause de corrosion et à une échelle moins importante pour les autres causes (pression et mouvement de terre).

En plus, il faut signaler que la cause inconnue est à l'origine de 10 cas de fuite et de 04 cas de rupture.

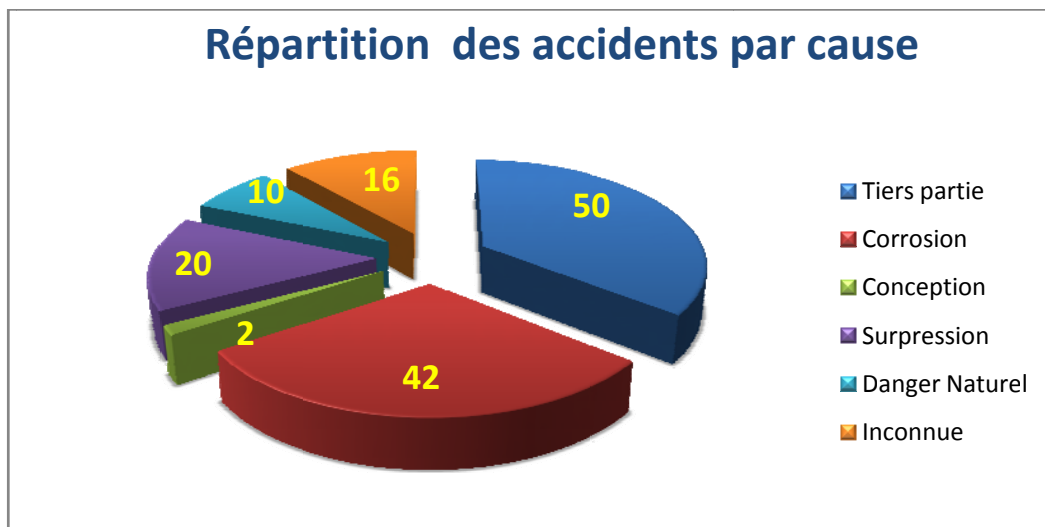
I.4.3 Répartition des accidents en fonction des causes

Les causes de défaillances des canalisations de transport des hydrocarbures se répartissent selon le retour d'expérience entre : tierces partie, corrosion, conception, surpression et danger naturel, dans notre cas l'étude des accidents indiqués dans l'annexe III présente les résultats montrés dans le Tab. (I.4).

Tab. (I.4) : Répartition des accidents en fonction des causes (Cf, annexe III).

Causes	Nombre d'Accidents	Pourcentage
Tierce partie	50	35,71 %
Corrosion	42	30%
Conception	2	1,43%
Surpression	20	14,29%
Danger Naturel	10	7,43%
Inconnue	16	11,43%

Les données du Tab. (I.4) sont ainsi représentées dans le graphe de Fig. (I.6)

**Fig. (I.6): Répartition des accidents par causes.**

L'analyse des données du Tab. (I.4), et celui du graphe de la Fig. (I.6) ci-dessus, indique que plusieurs types de causes d'accidents ont été identifiés suite à l'étude des bases de données enregistrées sur les 140 accidents des canalisations de gaz naturel et d'hydrocarbures. Les causes des accidents détectées sont, le plus fréquemment, classées selon six catégories :

- Agression externe ou activité tierce **35,71 %** ;
- Corrosion **30 %** ;
- Mouvement de terrain ou risques naturels en général **14,29 %** ;
- Conception, défaillance de matériel ou mécanique **1,43 %** ;
- Erreur opérationnelle **7,43 %** ;
- Autres et causes inconnues **11,43 %**.

Les trois premières catégories de causes peuvent être trouvées dans la plupart des rapports officiels. Des précisions peuvent être apportées sur certaines thématiques comme les

fissurations de fatigue, les défauts de soudure, la corrosion interne et externe, les fissurations de corrosion sous contrainte, les erreurs opérationnelles, les violations de procédures, etc. Ce type de classification englobe la majorité des enseignements des accidents, ainsi que les recommandations des analyses post-accidentelles. Toutefois, ce type de classification générale des mécanismes de défaillance ne permet pas d'identifier systématiquement les causes profondes, l'origine des défauts du système ou l'erreur humaine, car elles ne sont pas toujours établies avec certitude.

I.4.4 Evolution et répartition des accidents en fonction de type de causes

Concernant la répartition temporelle le Tab. (I.5) représente l'évolution du nombre d'accidents par décennie.

Tab. (I.5) : Evolution et répartition des accidents en fonction de type de causes

(Cf,annexe III).

	Tiers partie	corrosion	conception	Pression	Danger naturel	Inconnue
1960 - 1970	0	3	0	2	0	0
1970 - 1980	6	6	0	7	2	1
1980 - 1990	15	6	1	1	0	2
1990 - 2000	19	15	1	7	6	5
2000 - 2011	10	13	0	4	2	8

Les données du Tab. (I.5) sont ainsi représentées dans le graphe de la Fig. (I.7) pour permettre une analyse détaillée relative à la répartition temporelle en fonction des causes.

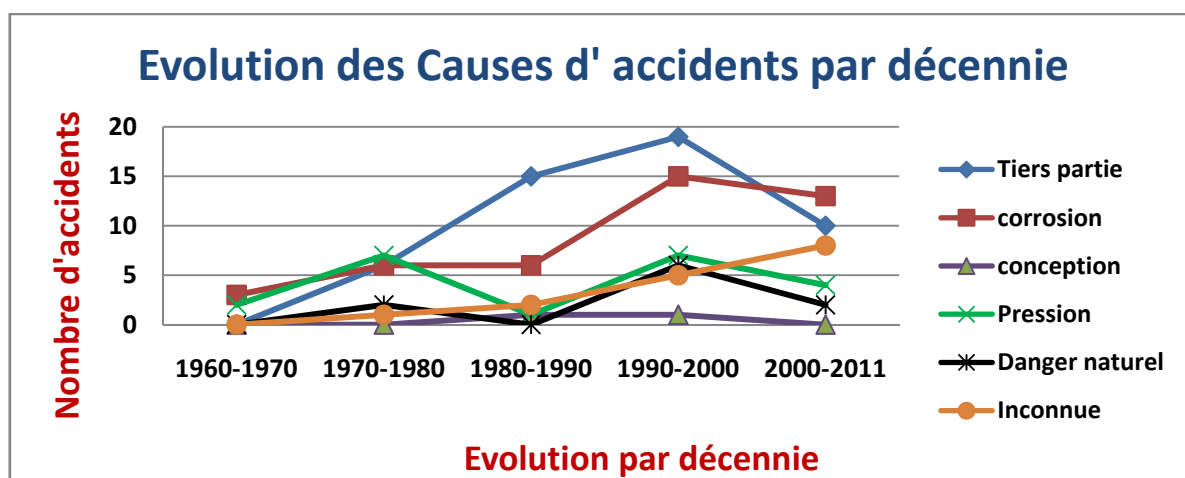


Fig. (I.7): Evolution des causes d'accident par décennie.

Le graphe de la Fig. (I.7), montre une augmentation ascendante au cours des années des accidents liés aux tiers parties et à la corrosion, ce qui donne un point de sommet dans la période entre 1999 et 2000 et puis nous remarquons une diminution remarquable durant la période 2000 et 2011. Cette observation peut être expliquée par le taux d'accroissement et la concentration de la population dans les villes avec l'augmentation importante des activités humaines liées à la célérité du développement économique vécu durant la période des années 1980-2000 qui ont créé des problèmes d'organisation dans la préparation des chantiers autour des canalisations, d'absence de la demande d'intervention, de la méconnaissance des servitudes inhérentes au passage de la canalisation, et de la difficulté de communication ou l'absence de coordination entre les différents acteurs. En plus, il existe d'autres facteurs amplifiant le risque de défaillance des canalisations par les tiers parties tels que l'érosion des terrains qui rend les canalisations à des profondeurs allant jusqu'à 0,30 m, une hauteur insuffisante pour éviter, par exemple, les impacts des socs de charrue.

L'autre cause notable d'accidents est liée à l'état des canalisations, car au fil des ans, l'âge des canalisations augmente le problème de la corrosion dû à la corrosivité des sites, la défaillance de protection cathodique. Cela explique le nombre croissant des accidents survenus durant les années 1960 à 2000 et ainsi une légère diminution qui explique l'utilisation des méthodes avancées pour réduire ce risque tel que Risk Based Inspection.

Il existe d'autres types d'agressions naturelles souvent liées aux zones de cheminement des canalisations très étendues, ce qui augmente l'exposition de la canalisation aux différents dangers naturels tels que les glissements de terrain, le gel et les impacts de foudres.

I.4.5 Répartition des accidents en fonction des effets

Les accidents de transport des hydrocarbures par canalisation recensés présentent des effets tel que : VCE, boule de feu, feu de chalumeau et simple fuite. Ces phénomènes sont régulièrement associés. En ce qui concerne la base de données étudiée les résultats sont montrés dans le Tab. (I.6).

Tab. (I.6) : Répartition des accidents en fonction des effets (Cf, annexe III).

Type d'événement	Nombre d'Accidents	Pourcentage
UVCE	32	22.86%
Boule de feu	28	20%
Feu de Flash	29	21%
Feu de chalumeau	62	44.23%
Fuite de pétrole	33	23.57%
Fuite de gaz	12	8.57%

Les statistiques des événements recensés dans le Tab. (I.6) sont rendues plus explicite dans la Fig. (I.8).

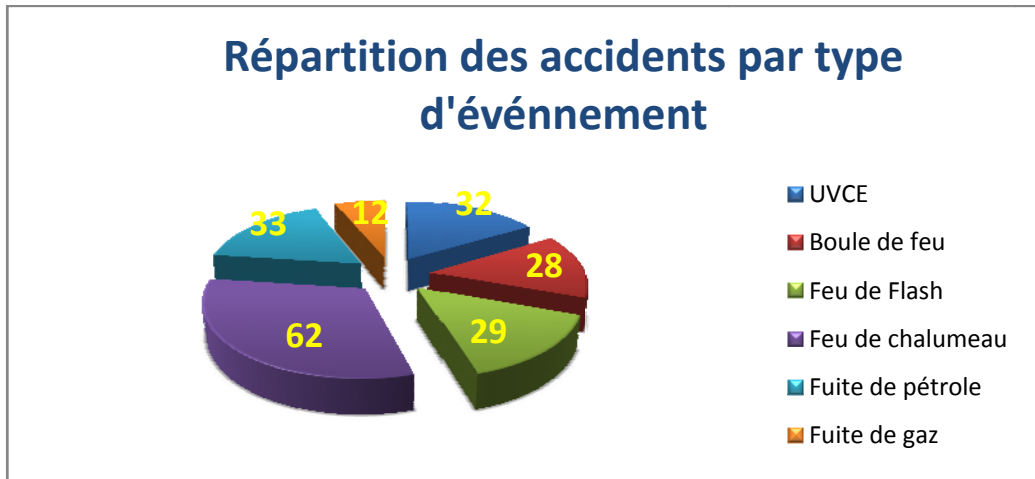


Fig. (I.8): Répartition des accidents par type d'événement .

L'analyse du graphe de la Fig. (I.8), en fonction des phénomènes rencontrés, montre que les différents phénomènes se répartissent entre VCE , boule de feux, jet de chalumeau, jet de flamme et fuite sans ignition. Cela donne une idée sur les différents scénarii rencontrés, lors d'un relâchement d'une canalisation qui nécessite une étude approfondie afin de déterminer leurs effets sur l'environnement extérieur, et dont la composante est l'homme, les biens et l'environnement.

Il faut savoir, aussi, que la lecture des données relatives aux cas historiques enregistrés dans les bases de données montre qu'un accident /incident peut avoir différents phénomènes de départ. Un incendie survient ,généralement, suite à une fuite ou une explosion, ce qui définit les scénarii à étudier représentés dans l'arbre d'événement ci-dessous Fig. (I.9).

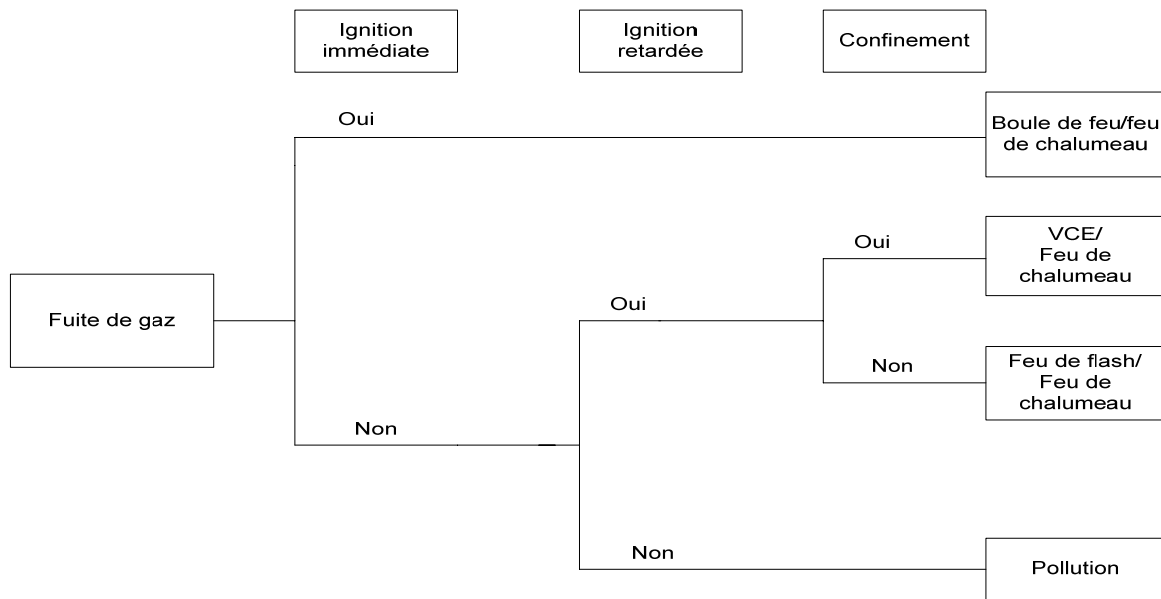


Fig. (I.9): Arbre d'événements représentant une fuite de gaz

I.4.6 Répartition des accidents en fonction des conséquences par type de produit

Les accidents étudiés dans notre travail présentent des conséquences dévastatrices sur l'homme, les installations et l'environnement .Le bilan sur les pertes humaines est considérable est nous avons répartis dans le Tab (I.7) les accidents selon trois critères : accidents mortel, accident avec des blessés et ceux qui engendrent des évacuations de la population proche du lieu du sinistre.

Tab. (I.7) : Répartition des accidents en fonction des conséquences (Cf, annexe III).

Type de Produit	Conséquences		
	Morts	Blessées	Évacuées
Pétrole	89	267	20
Gaz	727	1113	1580

Les données du Tab. (I.7) sont ainsi représentées dans le graphe de Fig. (I.10) pour permettre une analyse détaillée relative aux conséquences du gaz et de pétrole brut.

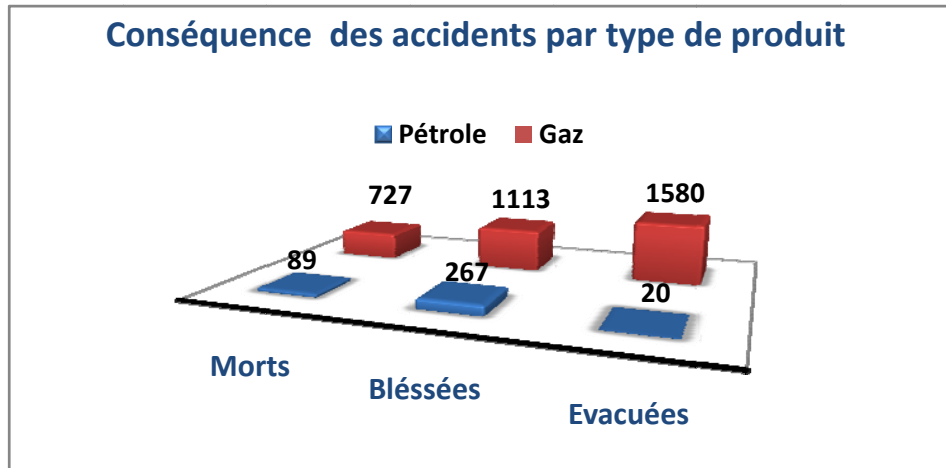


Fig. (I.10):Conséquences des accidents par type de produit.

Les éclatements de canalisations peuvent avoir des effets spectaculaires et dangereux en terme de fatalité, blessures, évacuations, dégâts matériels et pollutions des sols.

Les valeurs représentées dans le graphe de la Fig. (I.10) permettent de conclure que le gaz a de conséquences désastreuses plus que le pétrole et on compte quelques 727 morts par rapport à 89 pour le pétrole, 1113 blessé contre 267 et 1980 évacués contre 20.

Ces résultats peuvent être expliqués par la nature du gaz qui une fois échappé, se disperse à des distances importantes et par la nature de l'ignition (immédiate ou retardée) avec le degré de confinement peut donner naissance aux différents phénomènes déjà étudiés : feu de chalumeau, feu de flash, boule de feu, VCE et pollution.

Discussion

D'après l'étude des données statistiques précédentes, l'analyse des accidents liés au transport des hydrocarbures par canalisation a révélé l'importance de l'étude statistique permettant de donner une idée claire sur les éléments à cibler pour réduire les accidents, d'apporter des solutions concrètes aux défaillances des canalisations engendrant des conséquences fâcheuses et de protéger l'homme, les biens et l'environnement.

L'étude des différents textes réglementaires a montré une abondance de textes relatifs aux installations classées et celles soumises pour inciter les transporteurs à mettre les dispositions nécessaires pour réduire les accidents. Cependant, malgré toute la réglementation existante, l'accident reste toujours présent et les conséquences sont catastrophiques.

Les deux causes principales sont le tiers parti et la corrosion qui résulte d'un manque de surveillance des installations s'étalant sur des surfaces importantes et passant par des environnements géographiques et démographiques importants.

Pour cette raison, il est recommandé d'étoffer la réglementation liée au transport des hydrocarbures par canalisations, en exigeant l'installation d'un Système d'Information Géographique qui de par sa capacité de stockage et de manipulation de l'information aide à localiser avec exactitude les différentes canalisations, et ainsi surveiller l'évolution des causes d'accidents. Donc, une maîtrise de l'information liée à la canalisation. Cette dernière représente l'élément clé pour les données relatives aux études de risques et les décisions à prendre.

I. 5 Etat de l'art des travaux de recherche relatifs au thème de recherche

Les canalisations représentent un moyen pratique de transport des hydrocarbures, ce qui a incité la plupart des pays à éviter les autres modes de transport tels que les routes, le chemin de fer. Ce moyen de transport assure une économie stable, durable et sûre.

L'étude statistique des accidents apparus dans ce domaine de transport montre que la fréquence d'apparition de ces accidents est faible par rapport à d'autres modes de transport, mais s'ils arrivent, des conséquences graves ont été constatées. Cela implique que des mesures supplémentaires doivent être adoptées pour maîtriser ces risques. Cette nécessité a contribué au développement de la recherche dans ce domaine, et en plus des approches classiques utilisées, plusieurs travaux de recherche axés sur la prise de décisions ont été réalisés, en utilisant des outils d'aide à la décision. Ces travaux se résument dans les paragraphes suivants :

I.5.1 Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipeline

Ce travail présente un modèle de décision multi-attribut pour l'évaluation des risques liés au transport par canalisation en se basant sur l'arrangement des sections dans le but d'hierarchiser le risque. Ce modèle prend en considération l'impact financier, environnemental et humain généré par les accidents. La théorie d'utilité multi-attributs est utilisée pour agréger plusieurs dimensions des conséquences et d'inclure les préférences et le comportement des décideurs en cas d'incertitude au sein des mesures mathématiques basées sur le risque (BRITO & al, 2009).

I.5.2 Accident occurrence evaluation in the pipeline transport of dangerous goods

Ce travail présente les causes significatives qui contribuent aux défaillances des canalisations et ainsi l'évaluation de l'occurrence de ces défaillances selon les caractéristiques techniques des canalisations, infrastructures, éléments territoriaux et les activités autour des canalisations. Ce modèle utilise les réseaux de neurones artificiels (ANN, Artificial Neuron Network) comme un outil d'aide à la décision pour définir les relations entre les facteurs conduisant aux accidents et l'occurrence de défaillance de canalisations. Il a fait allusion aux SIG, mais il n'a pas détaillé sa contribution à la prise de décision relative aux risques liés au transport de la matière dangereuse. (BERSANI & al, 2009).

I.5.3 Improving pipeline risk model by using data mining techniques

Ce travail présente l'utilisation des outils des systèmes d'intelligence artificielle pour développer un modèle d'analyse des risques générés par les canalisations de transport par l'utilisation de l'historique des défaillances pour prévoir le comportement de ces canalisations afin d'éliminer les aspects subjectifs des poids relatifs aux variables impliquées.

Le système de data mining est une technique d'intelligence artificielle étudiée dans ce travail pour améliorer les modèles d'évaluation des risques afin de prendre les décisions rationnelles concernant l'atténuation des risques (D'ATRI & al, 2009).

I.5.4 Decision analysis framework for risk management of crude oil pipeline system

Ce travail présente un modèle construit pour le management des risques générés par les canalisations transportant le pétrole brut et qui sont exposées au risque de rupture sur la base d'une méthodologie incorporant le jugement d'expert et l'analyse hiérarchique du procédé (AHP, Analytical Hierarchy Process). Le modèle de risque calcule les fréquences des défaillances des segments de la canalisation et ainsi les conséquences probables, prenant en compte des mécanismes de défaillances divers.

Cette méthode de prise de décision permet de hiérarchiser le risque sur les différents segments afin de prioriser les inspections et les activités de maintenance et, ainsi, hiérarchiser les causes de défaillances par leur gravité d'impact et leur budget alloué aux activités de maintenances (DAWOTOLA & al, 2011).

I.5.5 Aspects of risk analysis associated with major failures of fuels pipelines

Le travail présente une méthodologie pour l'évaluation des risques associés aux transports des substances dangereuses par les canalisations de transport. L'aspect spécifique de cette recherche est la combinaison des méthodes qualitatives et quantitatives sur la base de cette méthodologie, les problèmes typiques qui posent souvent un danger sérieux et constituent une part de l'analyse des risques liés au transport par les canalisations sont bien posés. (DZIUBINSKI & al, 2006).

I.5.6 Natural Hazard Database Application: A Tool for Pipeline Decision Makers

Ce travail décrit le développement et l'évolution des applications des bases de données qui accompagnent les études de l'évaluation quantitative et la priorisation des dangers potentiels géotechniques et hydrotechniques tout au long des canalisations de transport. Il est la cible des managers dans le domaine de transport par canalisation, qui cherchent des solutions par des informations économiques, pratiques et innovatrices pour le management des risques naturels. (LEIR & REED, 2002).

I.5.7 Risk analysis of natural gas pipeline: Case study of generic pipeline

Ce travail consiste en l'analyse quantitative des risques liés au transport du gaz naturel par canalisation par l'utilisation des outils de modélisation et, ainsi, présente les résultats sur une carte géoréférencée en utilisant un outil de système d'information géographique qui est le Arcview. (CHIARA & GIUSEPPE, 2010)

I.5.8 A multi-criteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRI TRI integrating utility theory

Ce travail propose un modèle multicritère pour l'évaluation des risques liés au transport du gaz naturel par canalisation, et pour la classification des sections de la canalisation par catégorie de risque. Le modèle en question combine la théorie de l'utilité et la méthode ELECTRI-TRI pour aider les compagnies de transmission et distribution de gaz quand elles s'engagent dans une démarche de management de risque de considérer les dimensions multiples de risques (humain, environnemental, financier) qui peuvent apparaître comme conséquences suite à des accidents des canalisations. (BRITO & al, 2009).

I.5.9 Apport des systèmes d'information géographique dans la gestion du réseau de transport des hydrocarbures.

Ce travail présente une nouvelle approche de gestion du réseau de transport en utilisant de nouvelles techniques des systèmes d'information géographique pour entretenir, maintenir et exploiter ce réseau grâce aux avantages des SIG relatifs à la capacité de stockage, la rapidité d'accès et la puissance de l'analyse spatiale (KASMIA, 2004).

I.5.10 Report corrib onshore pipeline QRA/Schell E&P Ireland Ltd.

Le rapport en question explique le processus d'une étude QRA ainsi que son application donnant des résultats numériques relatifs aux risques qui peuvent apparaître durant la phase opérationnelle associée à une fuite de gaz de la canalisation en fonction :

- du risque individuel,
- de risque sociétal,
- des distances de dangers.

Par ailleurs, ces résultats sont hiérarchisés selon des critères d'acceptabilité représentés par des matrices à trois plages de risque (zone risque faible, zone ALARP, zone de risque inacceptable). Cette matrice est utilisée par les décideurs comme outil d'aide à la décision pour déterminer les mesures d'atténuation (CROSSWAITE, 2010).

I.5.11 Projet Rabaska, analyse des risques technologiques, gazoduc

Ce rapport utilise l'approche QRA pour le calcul du risque lié au transport par canalisation ; le rapport donne des résultats numériques relatifs aux indicateurs de risque tels que :

- le risque individuel,
- le risque sociétal,
- les distances de dangers.

En outre, le rapport hiérarchise ces résultats selon des critères d'acceptabilités définis par des normes et standards spécifiques de chaque pays.

En plus, ces résultats sont représentés sur une matrice utilisée comme outil d'aide à la décision (DNV TEAM, 2005).

I.5.12 Projet Gazoduc GK3-48'' ; Hassi R'mel –Mechtatine, Lots I et II

Ce rapport (AGHA-CONSULT, 2010) présente le contexte réglementaire de l'étude de danger en Algérie, et son importance pour l'obtention de l'autorisation d'exploitation. Le

projet de gazoduc est considéré comme un établissement classé de première catégorie et est soumis à une autorisation ministérielle.

L'étude évalue et hiérarchise le risque selon des critères d'acceptabilité, ces derniers sont pris des standards internationaux, car en Algérie nous n'avons pas encore déterminé ces critères.

L'étude de danger est sanctionnée par un livrable de plusieurs documents exigés par l'ARH afin d'avoir l'autorisation d'exploitation :

- Plan d'Intervention Interne (PII).
- Système de Gestion de la Sécurité (SGS).

Discussion

L'analyse des travaux de recherche ainsi que les études de danger effectuées dans le domaine de la gestion des risques générés par le transport des hydrocarbures montrent que la plupart de ces études ont utilisé l'approche classique de la gestion des risques (calcul du risque basé sur la fréquence (probabilité) et la gravité (conséquence), combinées avec des méthodes de la prise de décision pour pouvoir hiérarchiser le risque et le maîtriser. Malgré la nouveauté de ces travaux, le SIG comme outil d'aide à la décision n'est pas utilisé dans ce domaine de transport par canalisation à part l'allusion à cet outil faite dans quelques travaux qui n'ont pas détaillé sa contribution à la prise de décision relative aux risques liés au transport de la matière dangereuse. Le SIG est utilisé dans ces travaux comme outil de représentation géographique plutôt que comme outil d'aide à la décision.

L'originalité de notre travail consiste en la combinaison des approches classiques de gestion des risques (QRA) avec le SIG comme outil d'aide à la décision pour maîtriser les risques générés par le transport des hydrocarbures par canalisations.

Conclusion :

Le système de transport des hydrocarbures par canalisation est une solution technologique importante appliquée dans l'industrie pétrolière. Ce système est très complexe, car géographiquement, il est réparti sur un vaste territoire, ce qui nécessite des technologies et des méthodologies visant à soutenir l'identification des segments de la canalisation qui sont potentiellement exposés à risque de défaillance (BERSANI & Al , 2009) et dégradation durant la phase d'exploitation dont les causes tel que montré par le

retour d'expérience relatif aux accidents /incidents étudiés dans ce chapitre incluent en grande partie la corrosion, tiers parties et en faible degré le mouvement de terrain ou risques naturels en général, la conception et l'erreur opérationnelle. Ces causes prises individuellement ou en combinaison conduisent à une perte de confinement caractérisée par une fuite ou une rupture (DAWOTOLA & al, 2010).

De nombreux accidents avec victimes se sont produits suite à l'endommagement des réseaux. Donc, la mise en œuvre des solutions anti-endommagement est une priorité, tant pour les autorités (la mise en place des institutions de contrôle, la création des textes réglementaires y afférente) que pour les exploitants (la mise en œuvre des bonnes pratiques issues des normes internationales), afin de prévenir de tels accidents. Ces solutions permettent, notamment, d'assurer une meilleure information pour décider sur:

- la participation de la société civile dans les organisations de secours ;
- les systèmes de déclaration de travaux pour la prévention des agressions externes avec la mise à disposition de tracés des réseaux ;
- l'adaptation des mesures compensatoires à la densité urbaine (source d'agression externe) et selon la canalisation (existante ou en projet) ;
- la détection de la corrosion, notamment pour les canalisations anciennes et le contrôle des points favorisant la corrosion (MICHEL, 2012).

Ces solutions peuvent être bien maîtrisées si une évaluation des risques est conduite.

CHAPITRE II

***MODELE D'EVALUATION QUANTITATIVE DES
RISQUES LIES AU TRANSPORT
DES HYDROCARBURES PAR CANALISATION***

Introduction

L'étude statistique des données historiques des accidents liés au transport par canalisation a révélé que ces accidents ont des conséquences désastreuses et des impacts négatifs selon différentes dimensions. Cela nécessite de mettre en place des mesures adéquates pour quantifier et atténuer les risques.

Plusieurs approches ont été appliquées pour identifier et estimer les risques liés au transport par canalisation. Cependant, le nombre important des méthodes utilisées pour l'analyse et l'évaluation des risques présentent des limites, étant donné, les considérations des dimensions multiples qui peuvent être liées à l'occurrence du risque.

Ce chapitre présente, essentiellement, un modèle pour la gestion des risques spécifiques au transport des hydrocarbures par canalisation, basé sur les outils d'aide à la décision, notamment le Système d'Information Géographique (SIG), afin de déterminer les mesures compensatoires qui réduisent le risque.

II.1. Approche de l'évaluation des risques liés au transport des hydrocarbures :

La gestion des risques présente plusieurs approches de l'évaluation des risques. On compte trois approches : qualitative, quantitative et semi-quantitative.

Le choix de l'approche qui va être utilisée dépend des objectifs de l'étude et des données disponibles sur le sujet (CHARLOTTE, 2006).

II.1.1- Approche qualitative

Cette démarche nécessite une étude détaillée et structurée de tous les paramètres devant être pris en compte dans la décision.

II.1.2 Approche semi-quantitative

Dans cette approche, le raisonnement est souvent similaire à celui d'une approche quantitative, au lieu de manipuler des données de fréquences ou de probabilité précises, des ordres de grandeur, et des indicateurs sont utilisés (CHARLOTTE, 2006).

II.1.3 Approche quantitative

L'approche quantitative consiste à un chiffrage des conséquences et des probabilités de chaque scénario. Le chiffrage des conséquences peut faire en termes de nombre de blessés, de morts ou en termes de coût (CHARLOTTE, 2006). Le chiffrage des probabilités se fait principalement en nombre d'occurrences par an à partir d'une méthodologie et suivant des hypothèses définies de calcul de la probabilité.

Néanmoins, ces approches présentent des limites quant à l'utilisation des données géographiques et surtout pour la gestion des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisations parcourant des distances très longues sur une géographie très variée.

II.2. Méthodologie de gestion des risques liés au transport par canalisation

Nous nous proposons dans cette partie de notre travail de développer une nouvelle méthodologie de gestion des risques relatifs au transport des hydrocarbures par canalisation. Ainsi, nous avons créé un modèle basé sur les outils d'aide à la décision (le système d'information géographique (SIG)), combiné avec l'évaluation quantitative des risques et les méthodes de prise de décision (méthodes multicritères, et les méthodes d'intelligences artificielles...), afin de maîtriser les risques à travers les mesures compensatoires à planifier.

Fig. (II.1):

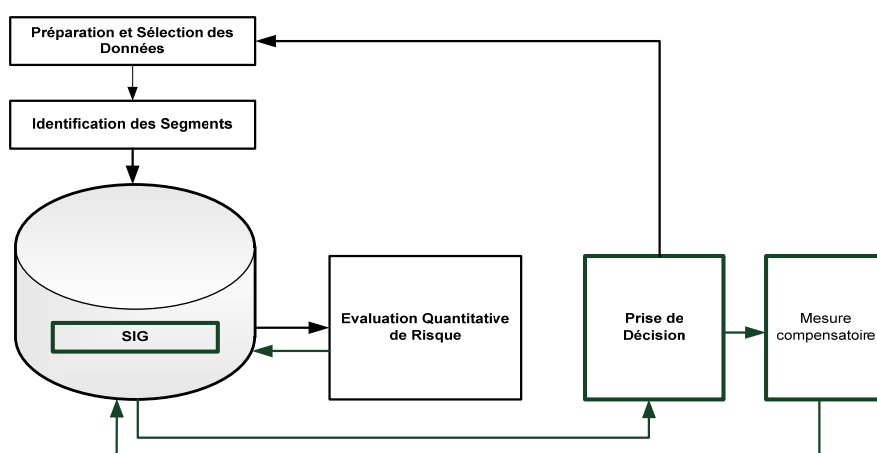


Fig. (II.1): Modèle d'évaluation des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation basé sur le SIG.

II.2.1 Préparation et sélection des données

La collecte de données consiste à recueillir tout ce qui peut être connu au sujet de la canalisation, y compris toutes les données d'inspection, d'information sur la construction d'origine, les conditions environnementales, l'exploitation et l'historique d'entretien et les défaillances, etc..Les données sont essentielles pour une bonne évaluation des risques ; et avec les modèles de risque, nous pouvons transformer les données en connaissance du risque (MUHLBAUER, 2004). Compte tenu de l'importance des données nécessaires à l'évaluation des risques, il est important d'avoir une compréhension claire du processus de la collecte des données d'où quatre questions sont posées :

- Que représentent les données ?
- Comment les valeurs sont-elles obtenues ?
- Existe-t-il des variations ?
- Pourquoi les données sont-elles recueillies ?

II.2.2 Sectionnement ou segmentation de la canalisation

Le risque est rarement constant le long d'une canalisation avec le changement des conditions du tracé. Il est, donc, avantageux de segmenter la ligne en sections avec des caractéristiques de risque constant (segmentation dynamique) ou diviser la canalisation en éléments gérables. L'évaluateur des risques doit décider d'une stratégie de création de ces sections afin d'obtenir une image précise des risques. Chaque section aura son propre résultat évaluation des risques (MUHLBAUER, 2004).

A cet effet, deux approches sont utilisées pour segmenter les canalisations (MUHLBAUER, 2004):

- **Approche de longueur fixe:** Il s'agit d'une méthode de longueur fixe de sectionnement, fondé sur des règles de sectionnement telles que "tous les Points kilométriques, PK" ou entre "stations de pompage ". Ou "entre les vannes de sectionnement" (MUHLBAUER, 2004).
- **Approche de segmentation dynamique :**La méthode la plus appropriée pour le sectionnement du pipeline est d'insérer un point de rupture où les changements se produisent (risque important), car la section voisine ne diffère au moins une des

variables de risque qu'il puisse être un changement dans la spécification de la canalisation, les conditions du sol, la population, ou l'une des douzaines d'autres des variables (la densité de population, les conditions du sol, l'état du revêtement, à l'âge de la canalisation, etc.....) (MUHLBAUER, 2004).

Les données extraites de la segmentation de la canalisation viennent pour constituer une base de données importante. De ce fait, un système d'information est nécessaire pour permettre une bonne structuration et organisation des données.

En plus, l'étendue de cette canalisation sur une géographie très variée donne une grande importance à la localisation géographique des données de la canalisation. De ce fait, un système d'information géographique (SIG) est nécessaire pour structurer et organiser les données relatives à la segmentation de la canalisation pour alimenter par la suite l'évaluation des risques. Alors, nous présentons ci-après, une étude détaillée du système d'information géographique.

II.2.3. Système d'Information Géographique

II.2.3.1 Définition du SIG

Comment définir un système d'information géographique ? La plupart des auteurs privilégient un des critères suivants : les composants d'un SIG, ses fonctionnalités ou sa finalité (objectifs). Devant la multiplicité des définitions ayant cours dans des disciplines scientifiques et des secteurs d'activité différente (LAKHOUA, 2007). Dans le présent travail, nous avons retenu la définition qui répond le mieux aux objectifs de notre problématique : « *Un SIG est un ensemble de principes, de méthodes, d'instrument et de données à référence spatiale utilisé pour saisir, conserver, transformer, analyser, modéliser, simuler et cartographier les phénomènes et processus distribuer dans l'espace géographiques. Les données sont analysées afin de produire l'information nécessaire pour aider les décideurs* » (UMBEHR, 2001).

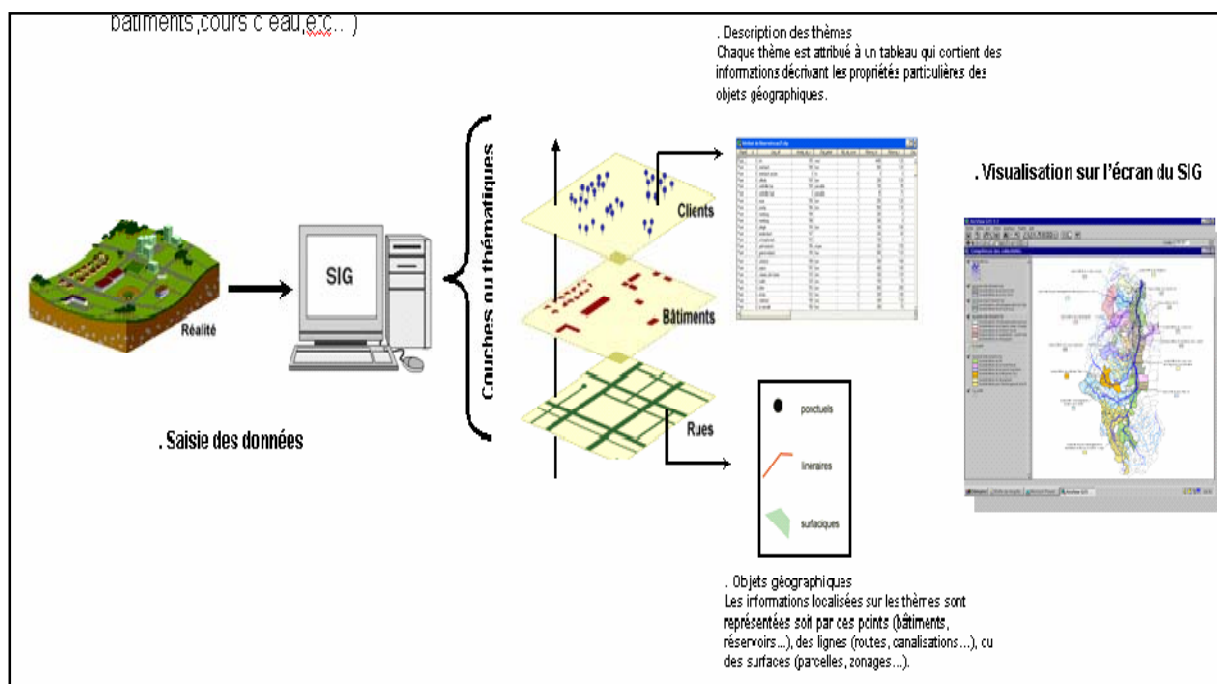


Fig. (II.2): Architecture d'un système d'information géographique (PLANTIER, 2009).

II.2.3.2. Composants du SIG

Un système d'information géographique est constitué de cinq composants majeurs, représentés au niveau du schéma de la Fig. (II.3) ci-dessous :

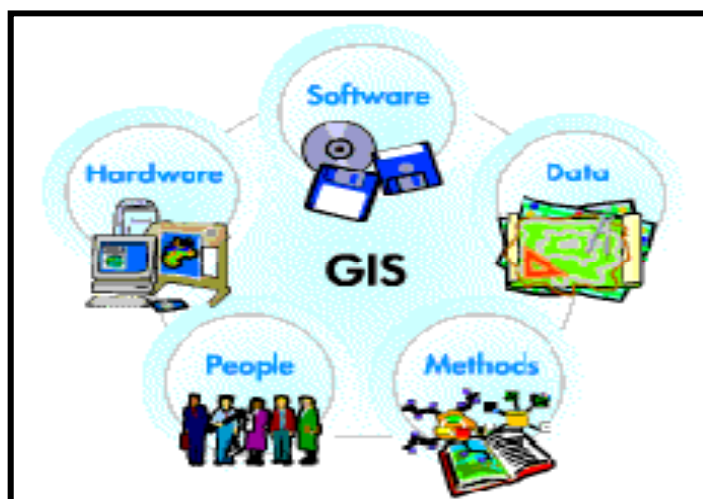


Fig. (II.3): Composants d'un Système d'Information Géographique (URBANI, 2006).

- **Les logiciels :** les logiciels qui offrent les fonctions élémentaires suivantes :

- **Acquisition** : saisie, intégration et échanges des informations géographiques sous forme numérique.
- **Archivage** : structuration et stockage de l'information géographique sous forme numérique.
- **Analyse** : manipulation et interrogation des données géographiques (calculs liés à la géométrie des objets, croisement de données thématiques ...)
- **Affichage** : représentation et mise en forme, notamment sous forme cartographique avec la notion d'ergonomie et de convivialité.
- **Abstraction** : représentation du monde réel. (RAVALET & PANET, 2001).
- **Les données** : constituent la partie la plus importante du SIG. Elles se composent de:
 - **Données attributaires** : décrivent un objet géographique : nom d'une route, type d'un bâtiment, nombre d'habitants d'un immeuble, débit d'un fluide (gaz), tension d'une ligne de transport d'énergie, type d'arbres autour d'une canalisation de transport des hydrocarbures. Les attributs ne sont pas stricto sensu des informations géographiques, mais contribuent à qualifier les objets.
 - **Les objets géographiques** : sont organisés en couches. Chaque couche fait référence à un thème, par exemple, couvert végétal, ou réseau routier.

Trois types d'entités géographiques peuvent être représentés :

- Le point (x,y).exemple : unité de protection civile, unité des centres médicaux
- La ligne ((x1, y1)... (xn,yn)).exemple : réseau routier, tracé d'une canalisation.
- Le polygone. Exemple : villes, forêts...
- Deux modes de représentations des données sont possibles :
 - Vectoriel (format vecteur) : les objets sont représentés par des points, des lignes, des polygones ou des polygones à trous ;
 - Matriciel (format raster) : il s'agit d'une image, d'un plan ou d'une photo numérisés et affichés dans le SIG en tant qu'image. (MARTIN, 2004).

Dans un SIG, un système de coordonnées terrestres (sphérique ou projectif) permet de référencer les objets dans l'espace et de positionner l'ensemble des objets les uns par rapport aux autres. Les objets sont généralement organisés en couches, chaque couche rassemblant l'ensemble des informations se rapportant à un même thème donné.

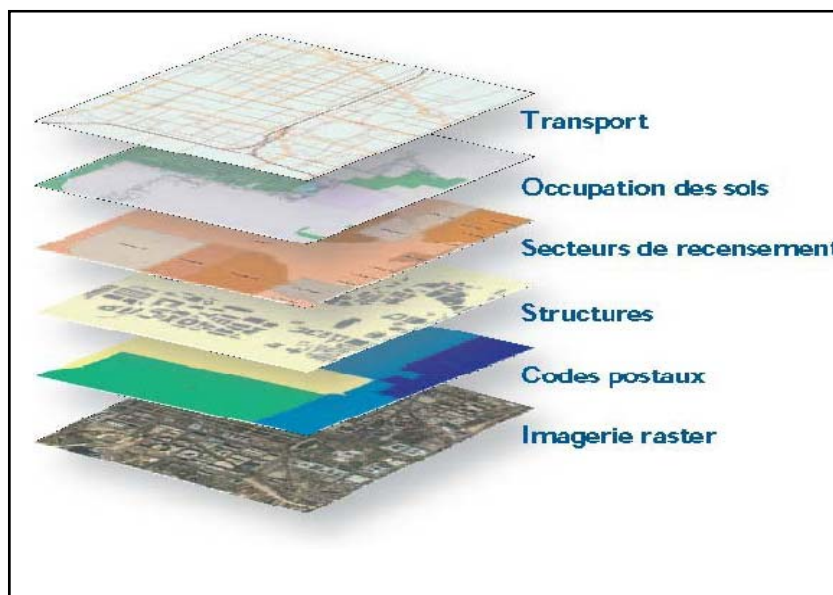


Fig. (II.4): Couches d'un Système d'Information géographique (URBANI, 2006).

Avec un SIG, les relations entre les objets peuvent être calculées et donner naissance à des points d'intersection afin d'éviter la répétition d'objets superposés. Ainsi, une parcelle bordant une route aura les mêmes sommets que ceux définis pour la route.

- **Les métadonnées :** un SIG manipule des données provenant de différentes sources. Celles-ci sont, aussi, accompagnées d'informations caractérisant la source elle-même, soit encore de données sur les données : des métadonnées. Ces dernières apportent, par exemple, des informations sur la nature des données, le système de projection, l'étendue géographique, et la date de saisie. (MARTIN, 2004).
- **Les matériels :** le traitement des données à l'aide des logiciels se fait en utilisant un ordinateur. Pour faciliter la diffusion des résultats produits par un SIG, de plus en plus de systèmes adoptent une architecture client-serveur (MARTIN, 2004).
- **Les savoir-faire :** un SIG fait appel aux connaissances, savoirs, savoir-faire de nombreux domaines: géographie, cartographie, analyse des données et des processus

(analyse Merise, Unified Modeling Language), informatiques, statistique, urbanisme, hydrologie... Cette approche pluridisciplinaire impose la collaboration d'experts appartenant à des domaines très différents (MARTIN, 2004).

- **Les utilisateurs** : les utilisateurs des systèmes d'information géographique ne sont pas forcément des spécialistes. Un tel système propose une série de boîtes à outils que l'utilisateur assemble pour réaliser son projet. N'importe qui peut, un jour ou l'autre, être amené à utiliser un SIG. Le niveau de compétences requis pour la conduite des opérations les plus basiques est, généralement, celui du technicien supérieur. Mais afin d'assurer une bonne qualité d'interprétation des résultats de l'analyse des données et des opérations avancées, celles-ci sont généralement confiées à un ingénieur disposant d'une bonne connaissance des données manipulées et de la nature des traitements effectués par les logiciels. Enfin, des spécialistes sont parfois amenés à intervenir sur des aspects techniques précis (MARTIN, 2004).

II.2.3.3 Mise en place de SIG

La mise en place d'un SIG requiert une méthodologie définie, ci-dessous, en quatre étapes de travail. Celle-ci est représentée au niveau du schéma de la Fig. (II.5).

- 1- Etape avant projet : se base sur l'étude des différents enjeux de la gestion de la canalisation notamment le volet réglementaire, elle consiste à analyser les besoins et se finalise par l'identification des objectifs.
- 2- Etape de conception : elle se base sur la mise en place d'architecture des bases de données et l'élaboration du modèle de donnée et finalement le choix du logiciel à utiliser.
- 3- Etape de mise en œuvre : c'est l'exécution de l'architecture, la collecte des données dont on a besoin au modèle, et enfin l'implémentation dans la base de données.
- 4- Etape d'exploitation l'utilisation du SIG : pour la simulation des scénarii d'incidents de la canalisation et la réintégration des résultats dans les considérations des objectifs de l'étude.

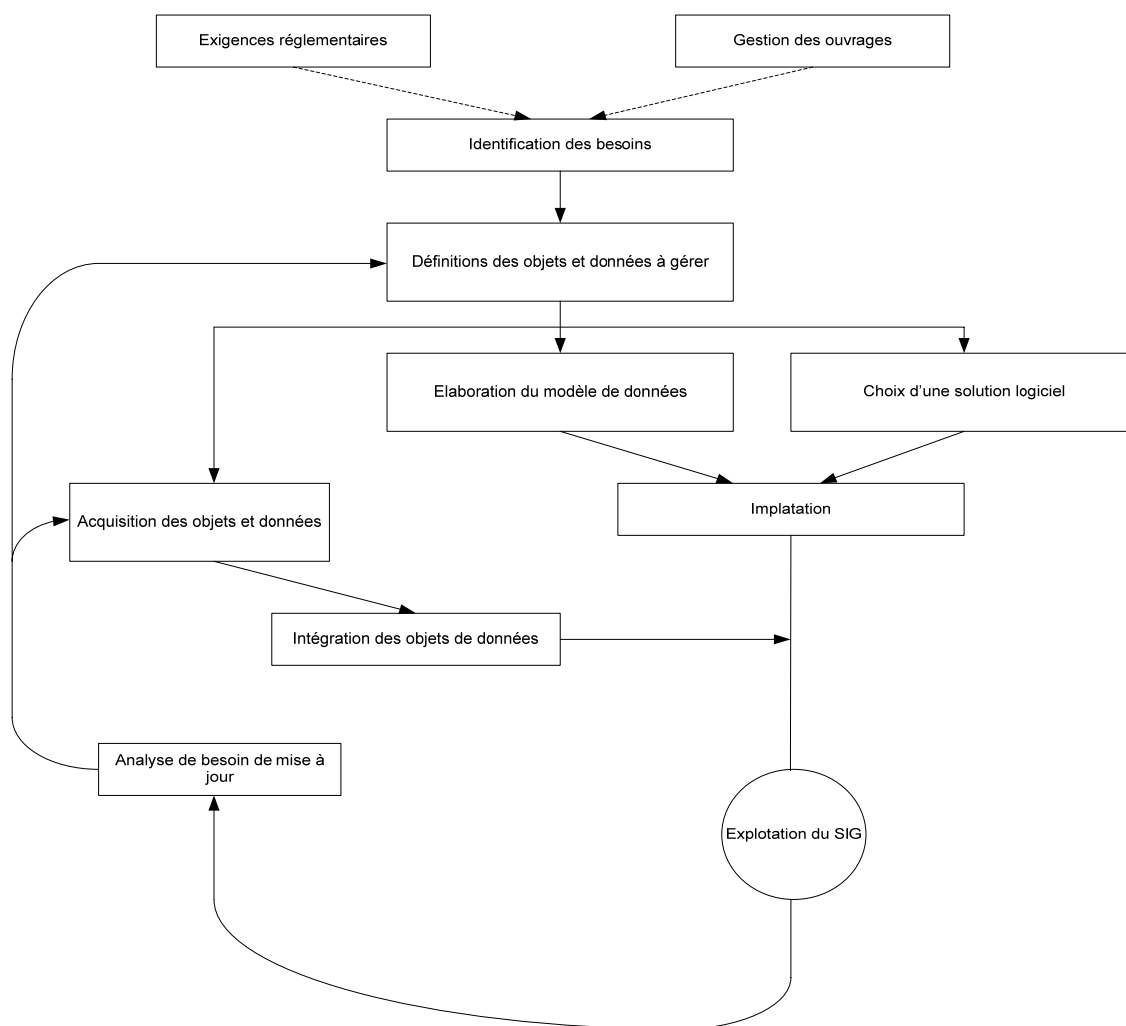


Fig. (II.5): Mise en place d'un Système d'Information Géographique (BOUVELLE & al ,2008).

Le modèle de la gestion des risques basé sur le SIG utilise des données stockées au niveau du SIG pour les exploiter dans l'évaluation des risques à travers le processus d'évaluation et d'acceptation du risque. Cette dernière utilise des approches déjà citées auparavant. Dans notre étude, nous nous proposons d'appliquer l'approche quantitative (Méthode analyse quantitative de risques, QRA).

II.2.4. Evaluation quantitative des risques (QRA)

L'évaluation quantitative des risques (QRA) est une technique utilisée pour évaluer les risques liés à l'homme, au matériel (Intégrité des installations) ou à l'environnement résultant des activités dangereuses. A la suite de l'accident de Piper Alpha, la technique

QRA est appliquée à grande échelle dans le secteur pétrolier et du gaz. La méthode QRA porte sur les dangers potentiels découlant des activités ou associés à l'installation ou d'événements extérieurs qui ont le potentiel d'affecter l'homme, le matériel, ou l'environnement.

Le processus de l'évaluation de risque par la méthode QRA est composé de plusieurs étapes décrites dans l'organigramme de la Fig. (II.6).

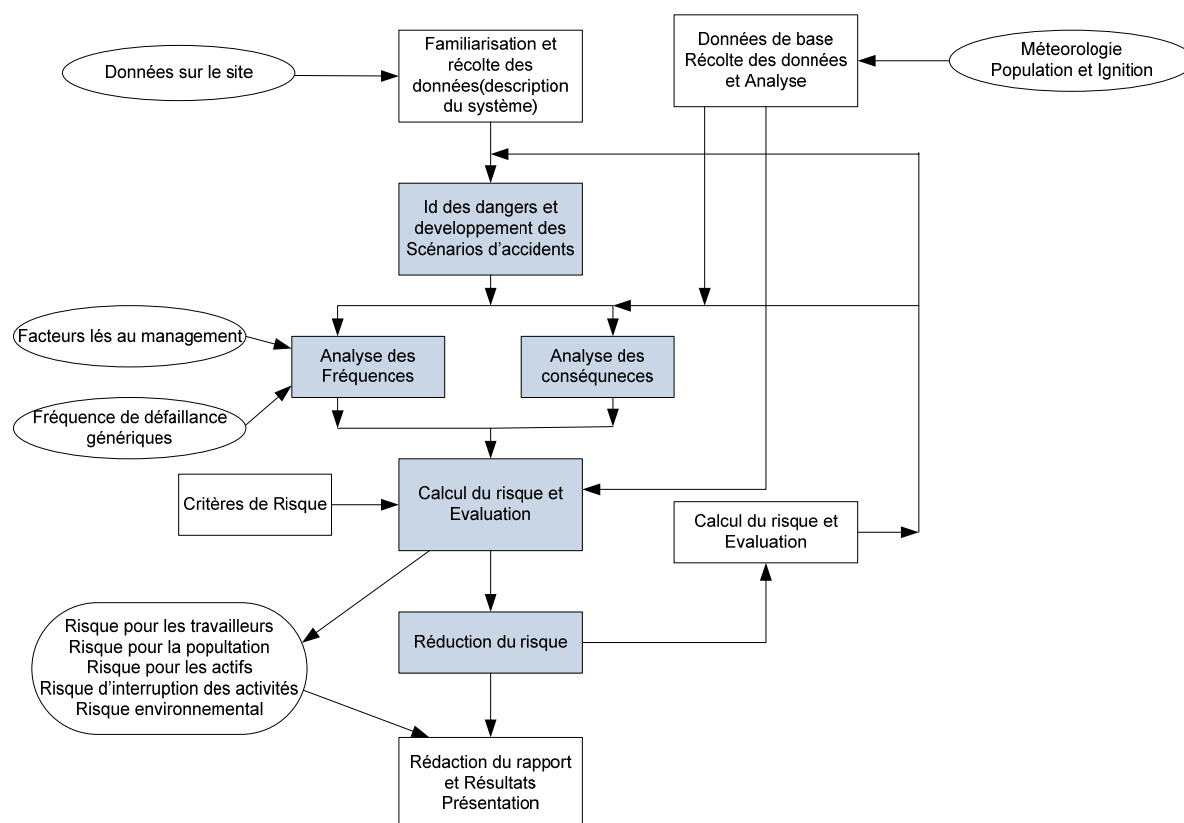


Fig. (II.6): Structure d'une QRA (VAN DRIESSE & BERNAERT, 2010).

- **Identification des dangers :** vise à dresser l'inventaire des dangers liés à un projet, une installation, une activité. Elle fait appel à plusieurs sources d'information, dont, notamment, l'expérience, les codes en vigueur, les descriptions de procédés, les informations sur les matières dangereuses, etc. Les méthodes d'analyse qualitative telle que HAZOP, APR, What –if et HAZID sont utilisées à cette fin.

Les dangers sont associés aux matières dangereuses nécessaires au projet, aux procédés et aux équipements ainsi qu'à la localisation géographique du projet. (THEBERGUE, 2002)

HAZID est la méthode choisie pour identifier les risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation. HAZID est la technique de choix pour l'identification des dangers. Elle se concentre, généralement, sur les plans des installations, car elle vise à identifier les dangers intrinsèques. HAZID peut être très utile à un stade précoce d'un nouveau design de sorte que tous les dangers potentiels peuvent être pris en compte (ADNOC, 2005).

- **Sélection des scénarii :** à partir des informations recueillies sur le projet, les matières dangereuses présentes, les quantités en cause et les accidents passés. L'élaboration des scénarii d'accidents permet d'établir la liste des événements anormaux susceptibles de survenir. Des méthodes qualitatives, développées au fil des ans, permettent l'identification des séquences d'événements menant à la matérialisation d'accidents technologiques majeurs (THEBERGUE, 2002).
- **Estimation de Conséquences :** l'estimation des conséquences liées aux scénarii d'accidents retenus permet d'établir et de quantifier les impacts de ces événements sur le milieu environnant. Les conséquences d'un scénario d'accident se définissent à l'aide de deux notions :
 - les caractéristiques de l'accident et son impact.
 - Les caractéristiques de l'accident pouvant générer un effet négatif sur les éléments sensibles du milieu.

L'impact définit cet effet. Par exemple, lors d'un incendie (événement accidentel), la radiation thermique (caractéristique) entraîne des brûlures (impact) aux individus exposés (THEBERGUE, 2002).

L'estimation des conséquences est faite par la modélisation des conséquences qui conduit à calculer l'intensité du phénomène dangereux pour chaque événement de perte de confinement de la canalisation de transport des hydrocarbures. Le produit, dispersé ainsi, forme un nuage gazeux, ce dernier s'enflamme en rencontrant une source d'ignition pour donner, incendie, explosion ou nuage polluant. L'intensité de ces phénomènes s'exprime par la répartition des concentrations en substance dangereuse, par des niveaux de flux thermique ou par des niveaux de surpression en fonction du phénomène considéré. Il s'agit de modèles de dispersion, d'effets thermiques et d'explosion classiques. Les modélisations sont réalisées pour différentes conditions météorologiques auxquelles sont associées des probabilités

d'occurrence Fig. (II.6). Chaque ensemble de conditions initiales est aussi qualifié en termes de probabilité. Les résultats ainsi obtenus seront utilisés dans la dernière étape pour calculer et évaluer le risque (risque individuel et le risque sociétal) (DEBRAY& al, 2006).

Les causes et conséquences pour les canalisations de transport des hydrocarbures sont liées et leur évaluation peut être réalisée par la combinaison des SIG (logiciel arcGIS) et du QRA (logiciel PHAST) Fig. (II.7).

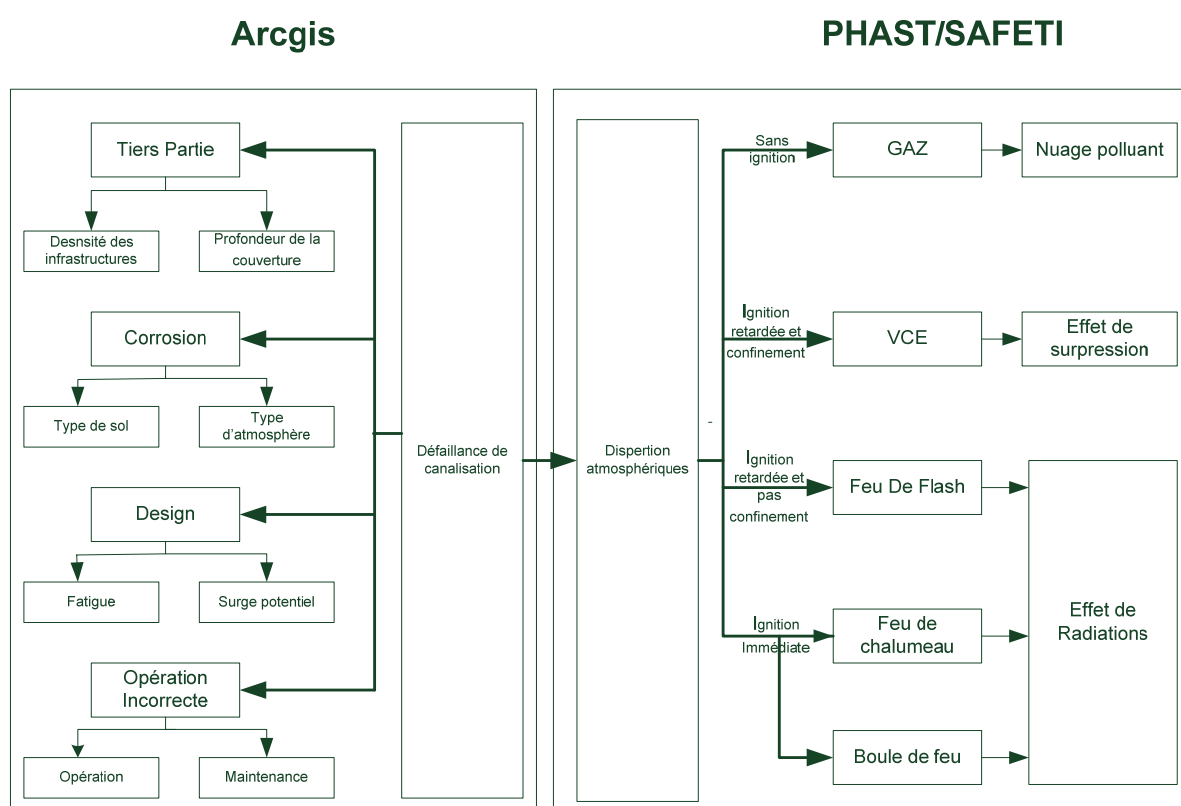


Fig. (II.7): Evaluation des causes et conséquences de défaillances des canalisations par combinaison du SIG et QRA.

Pour le transport de gaz par canalisation, trois types d'événement accidentels sont généralement considérés : nuage polluant, incendies (feu de flash, feu de chalumeau, boule de feu), et explosion (VCE).

- **Nuage polluant** : est formé lorsqu'il y a perte de confinement du gaz transporté et dispersion du gaz à température et à pression ambiante. Les caractéristiques du nuage polluant (dimensions, durée, localisation, etc.) sont en fonction notamment de

la nature des produits, des réactions, des conditions de perte de confinement (grosseur et localisation de la fuite, présence d'un bâtiment, etc.) et des conditions météorologiques. Des modèles de dispersion atmosphérique permettent de connaître les concentrations du nuage polluant en fonction de la distance et du délai écoulé, en tenant compte notamment des conditions météorologiques et de la topographie (THEBERGUE, 2002).

- **Feu de flash** : également appelé feu de nuage résulte de la combustion non explosive d'un nuage de gaz ou de vapeurs inflammables avec l'air en milieu non confiné. En général, la durée d'un tel feu ne dépasse pas une dizaine de secondes. Les effets d'un feu de flash sont donc limités.

Par ailleurs, pour estimer les effets thermiques générés par un jet enflammé alimenté sur une longue durée (typiquement 1 minute ou plus), nous utilisons le module spécifique du Logiciel PHAST (DNV TEAM, 2010).

- **Feu de chalumeau** : se produit lorsqu'un nuage de gaz ou liquide inflammable à haute pression se forme de manière continue et s'allume à proximité de la source. Les radiations thermiques sont continues. La taille du feu de chalumeau dépend de la vitesse de décharge, de l'orientation, de la direction, de la météo...etc. La valeur des radiations à une distance donnée est calculée à partir du niveau de radiation de la flamme elle-même, de sa géométrie et de la transmissivité de l'atmosphère.

Par ailleurs, pour estimer les effets thermiques générés par un jet enflammé alimenté sur une longue durée (typiquement 1 minute ou plus), nous utilisons le module spécifique du Logiciel PHAST (DNV TEAM, 2010).

- **La boule de feu** : est un phénomène rapide qui se produit lors de la rupture d'une canalisation ou d'un ballon (cuve sous pression, citerne de camion, wagon) remplie d'un gaz sous pression avec une ignition immédiate. Il se produit alors une boule de feu qui ne dure que quelques secondes durant lesquelles, en fonction de la masse de gaz relâchée, les dégâts dus aux radiations importantes se propagent loin de la source et peuvent être considérables (DNV TEAM, 2010).

- **Explosion d'un nuage gazeux (VCE)** : Lorsqu'un gaz inflammable est relâché, son mélange avec l'air formera un nuage de gaz inflammable. Si ce nuage s'enflamme, la vitesse de la flamme peut s'accélérer et atteindre de grandes vitesses et produire des conditions significatives d'explosion. Pour qu'il y ait explosion d'un nuage

gazeux, il faut habituellement que le gaz soit confiné ou partiellement confiné (présence d'obstacles tels que tuyauteries, etc.) sinon le gaz brûlera en feu de flash (BEAUDOIN, 1999).

Les formules ci-après, Tab. (II.1), sont utilisées par le modèle intégral qui est la base théorique du logiciel PHAST utilisé dans notre étude pour calculer les différentes conséquences relatives à une perte de confinement d'une canalisation :

Tab. (II.1): formules utilisées pour le calcul des conséquences par le logiciel PHAST.

Evaluation des conséquences physiques	Evaluation des conséquences physiologiques
<p>I-Radiation Thermiques</p> <p>I-1 Boule de feu : (DNV Team, 2010)</p> <p>1- Le rayon de la boule de feu, R et la hauteur de son centre sont calculés grâce aux formules suivantes :</p> $r_{Flame} = 3.24 M_{Flammable}^{0.235}$ $H_{Flame} = 2r_{Flame}$ <p>r_{Flame}: Rayon de la flamme (m)</p> <p>$M_{Flammable}$: Masse de substance inflammable dans la boule de feu (kg)</p> <p>H_{Flame}: Hauteur du centre de la boule de feu (m)</p> <p>2- Durée de la boule de feu :</p> $t_{Flame} = 0.852 M_{Flammable}^{0.26}$ <p>t_{Flame}: Durée de la flamme (s)</p> <p>$M_{Flammable}$: Masse de substance inflammable dans la boule de feu (kg).</p> <p>3- Puissance émissive de la flamme</p> $E_f = \frac{F_s M_{Flammable} \Delta H_c}{4\pi r_{Flame}^2 t_{Flame}}$ <p>r_{Flame}: Rayon de la flamme (m)</p> <p>$M_{Flammable}$: Masse de substance</p>	<p>l'évaluation des effets physiologiques (% de létalité ou de blessure) associés aux effets physiques par l'équation de probit :</p> <p>le probit correspond à un pourcentage de létalité ou de blessure, l'équation de probit est équation de type : (DESCOURRIERE, 2006)</p> $Pr = a + b \ln D$ <p>Pr est un probit</p> <p>A et b sont des variables qui sont fonctions de l'effet de produit</p> <p>D correspond à une dose reçue</p> <p>1- Produit toxique</p> $Pr = a + b \ln C^n t$ <p>A, b et n sont des variables qui sont propres au produit étudié</p> <p>C concentrations (mg/m^3)</p> <p>T est le temps d'exposition (s)</p> <p>2- Effets thermiques</p> $Pr = a + b \ln Q^{4/3} t$ <p>Q est le flux reçu (W/m^2)</p> <p>T est le temps d'exposition (s)</p>

<p>inflammable dans la boule de feu (kg)</p> <p>tFlame : durée de la flamme (s)</p> <p>fs : fraction de l'énergie thermique émise par la flamme</p> <p>ΔH_C : chaleur de combustion de la substance inflammable</p> <p>I-2 feu de chalumeau (manuel QRA de DNV)</p> <p>1- Longueur de la flamme, modèle «Wertenbach» :</p> $L = 15Q^{0.41}$ <p>L est la longueur de la flamme. Q est vitesse de libération de masse</p> <p>2- Emissivité</p> $E_s = \frac{F_s m \Delta H_C * 10^{-3}}{S}$ <p>II –Effets toxiques</p> <p>La concentration (ppm), en termes de paramètres de toxicité, la durée (en minutes) et la valeur de probit est la suivante:</p> $C = \left(\frac{e^{(Pr-a)/b}}{t} \right)^{1/n}$ <p>III-Effet de surpression : Il existe plusieurs modèles mathématiques pour le calcul des effets de surpression tels que : Model TNT, Model Multi énergie.</p>	<p>3- Effets de surpression</p> $Pr = a + b \ln P$ <p>A, b et n sont des variables en fonction de l'effet considéré (éclatement des poumons, éclatement des tympan, projection de la personne ...).</p> <p>P est la pression (bar)</p> <p>Ces équations permettent d'avoir des distances ou des surfaces d'effets pour différent pourcentage des létalités ou des blessures à partir de données physiologiques (flux thermique, concentration de toxique, surpression).</p>
---	--

- Fréquence d'occurrence de risque** : d'un scénario d'accident dépend de la fiabilité des équipements impliqués et de la séquence d'événements générant l'accident. La fréquence d'occurrence d'un scénario d'accident peut être disponible directement à la suite d'observations répétées de situations accidentelles et grâce à la tenue de données statistiques (THEBERGUE ,2002).

Les fréquences de défaillance sont calculées en divisant le nombre d'incidents par une exposition du système. (EGIG TEAM, 2008).

- L'exposition est la longueur d'une canalisation et sa durée d'exposition est exprimée en kilomètres / years [km.yr] (EGIG TEAM, 2008).

Exemple: la société « A » a une longueur constante de canalisations de transport de plus de 5 ans de 1.000 km. Son exposition est alors de 5 fois 1,000 km, donc 5000 km.yr. L'EGIG a comparé les fréquences de défaillance primaire de différentes périodes, à savoir la durée totale (1970-2004), la période correspondant au cinquième rapport EGIG (1970-2001), la période des 5 derniers ans (2000-2004) et la dernière année 2004. Les fréquences de la défaillance primaire de ces périodes sont indiquées dans le Tab. (II.2).

Tab. [II.2] : Fréquence de défaillance première [1000 km.an] (EGIG TEAM, 2008).

Période	Nombre d'incidents	Exposition totale du système [km.an]	Fréquence de défaillance première [1000 km.an]
1970-2001	1061	2.41 .10 ⁶	0.44
1970-2004	1123	2.77. 10 ⁶	0.41
2000-2004	100	0.57.10 ⁶	0.17
2004	23	0.12.10 ⁶	0.19

- **Estimations des risques :** La dernière étape de calcul permet en premier lieu d'estimer le risque individuel, qui est calculé en effectuant la somme des probabilités de mort associées à chaque conséquence. Le risque sociétal est en suite obtenu en divisant l'espace autour de l'installation en cellules d'égale superficie et en évaluant la population potentiellement exposée dans chaque cellule et le nombre de morts parmi cette population pour chaque conséquence (DERBRAY& al, 2006).

En effet, la démarche entreprise dans ce travail de recherche pour l'estimation des risques s'est arrêtée au niveau du calcul des effets des conséquences. Les probabilités d'occurrence des conséquences sont faites par l'arbre d'événement en partant des fréquences d'occurrence du risque à la source et en suite le calcule (la somme) des probabilités de l'occurrence des conséquences déjà étudiées et en comparant avec les seuils d'acceptabilités définis par le retour d'expérience.

L'estimation de risque se fait selon la matrice représentée dans la Fig. (II.8), qui permet de visualiser des zones de risques acceptables, zone des risques ALARP (As Low As Reasonably Practicable) et la zone des risques inacceptables.

Les classes de risques sont représentées selon des échelles des gravités et des échelles de probabilité d'occurrences, Tab. (II.3).

Tab. (II.3): Matrice de risque –SONATRACH (DNV, 2010).

		Conséquences				Probabilité			
						Augmentation de probabilité →			
						P1 Improbable	P2 Peu probable	P3 Probable	P4 Très probable
Augmentation de la gravité ↓	G1 Mineur	Blessures mineures (A.S.A.)	Mineur	Pas d'incendie	Pas de dommage pas d'arrêt de production				
	G2 Sérieux	Blessures significatives (A.A.A.)	Pollution interne, Maîtrisée	Blessures mineures	Dommmages mineurs + arrêt bref de la production				
	G3 Grave	Incapacité permanente ou décès	pollution interne non maîtrisé ou pollution hors limite maîtrisée	Blessures significatives	Dommmage localisé+ arrêt partiel de l'unité				
	G4 Catastrophique	Plusieurs décès	Pollution hors limite de longue durée	Décès	Dommmage important+ arrêt total de la production				

Donc le résultat de l'estimation donnera les niveaux de risques indiqués ci-après :

Tab. (II.4) : Niveaux de risques (DNV, 2010).

Classification de risque	Description
	Acceptable
	ALARP
	Inacceptable

Le rôle de l'utilisation du logiciel ArcGIS, pour l'estimation du risque, est de déterminer les zones et la population exposée aux effets des conséquences (effet thermique, effet de surpression), en se basant sur la densité de la population au sein d'un territoire donné et se suite à la non-disponibilité du logiciel SAFETI qui nous permet du calcul du risque individuel et sociétal.

II.2.5 Prise de décision

Le résultat de l'analyse quantitative des risques va alimenter le processus de prise de décision afin de réduire les risques. En abordant le problème de la réduction du risque, une multitude de critères apparaissent influençant le choix des décideurs. L'investissement dans la sécurité est une décision impliquant l'échange d'une somme d'argent contre des espérances de gain future (ou de moindres pertes), dans un environnement en constante évolution. Ces décisions d'investissements sont liées à plusieurs facteurs :

- qualité de la décision prise,
- incertitude face à l'avenir (face aux conséquences d'un choix, face à la concurrence, face aux marchés...),
- disponibilité réduite des capitaux,
- difficultés de quantifier des données déterminantes et essentielles. (comme l'amélioration de la sécurité environnementale ou l'augmentation de la sécurité des employés)

Pour optimiser le choix de l'investissement, des outils d'aide à la décision permettent d'examiner, de manière couplée, des considérations aussi bien quantitatives (économiques ou financières) que qualitatives (par exemple une augmentation du niveau de sécurité) dans un modèle multicritère. Le choix d'une variante d'intervention pose deux difficultés :

- la première est liée à la qualité des informations de base, car chacune est déterminée selon une précision différente.
- La seconde est liée à la diversité des critères intégrés dans la prise de décision.

L'utilisation de méthodes multicritères d'aide à la décision permet d'affronter ces difficultés. On peut grâce, à elles, aborder l'évaluation des variantes selon des critères fixés par les décideurs. (PELLISSIER, 2001). Concernant les outils d'aide à la décision, notre choix est

porté sur le Système d'Information Géographique qui représente une composante importante dans le processus d'aide à la décision comme illustré dans la Fig. (II.9).

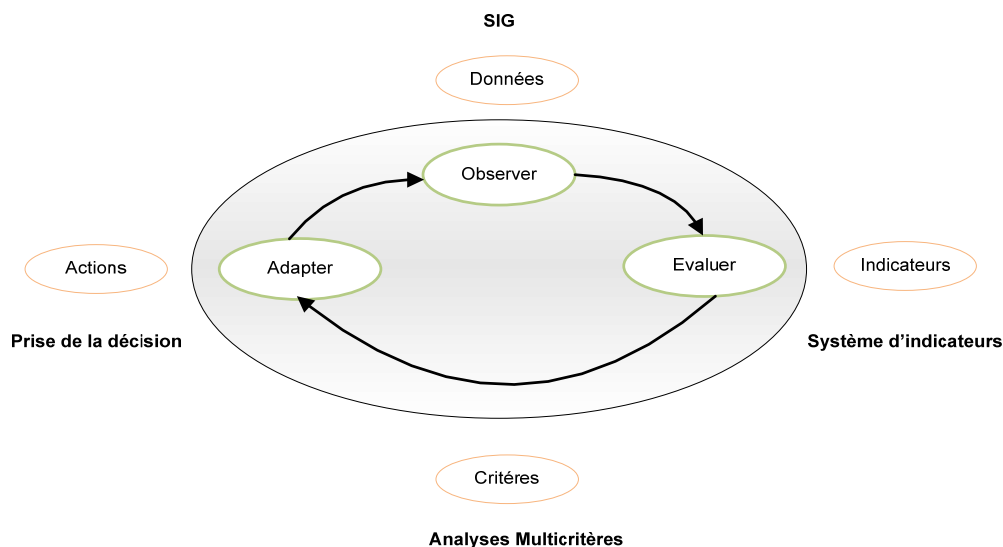


Fig. (II.9): les différentes phases du processus d'aide à la décision adapté (BERANGER & al, 2006).

Il a été estimé que 80% des données utilisées par les managers et les décideurs sont de nature géographique. Les problèmes de décision qui impliquent des données géographiques sont désignés comme de problèmes de décision géographiques (DROBNE & LISEC, 2009).

De ce fait, les systèmes d'informations géographiques représentent l'outil le plus approprié pour gérer les décisions liées aux risques de transport des hydrocarbures par canalisation compte tenu de l'importance, l'immensité et la dispersion des ces installations et des ouvrages partant dans le pays en analysant ,avec un maximum de rapidité et d'efficacité, les problèmes de plus en plus complexes auxquels l'entreprise est confrontée, et ceci, par la maîtrise de toutes les informations et données en temps réel pour la gestion physique du réseau de canalisation et ces accessoires et prévoir des solutions (décisions) adéquates quant à la gestion des risques pour protéger l'homme, les installations et l'environnement .

Par ailleurs, les problèmes de décision spatiale nécessitent souvent qu'un grand nombre d'alternatives possibles soit évalué sur la base de critères multiples. Donc les décisions spatiales sont de nature multicritère.

II.2.6. Mesures compensatoires :

A partir de l'évaluation des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisations, des mesures compensatoires sont à proposer pour réduire l'apparition des risques. Ces mesures compensatoires devraient, en principe, faire l'objet d'une analyse de faisabilité technique, mais également administrative ou juridique, avant d'être proposées dans l'étude de sécurité (VALIN & al, 2008b). L'étude de faisabilité traite plusieurs alternatives pour chaque risque, pour se faire, le retour aux outils d'aides à la décision est impératif pour atteindre l'objectif de réduction de risque à un niveau acceptable Tab. (II.3).

Il est rappelé que les mesures compensatoires doivent être reportées dans le SIG même lorsque les mesures mises en place permettent de passer à un scénario de référence réduit, le transporteur continuera, néanmoins, à indiquer les distances d'effets correspondant au scénario initial (VALIN & al, 2008b).

Ces dispositions compensatoires étudiées dans ce travail de recherche concernent surtout l'aménagement et l'exploitation de la canalisation :

1. Barrière technique :

- **Epaisseur résistant aux travaux tiers :** les essais ont montré qu'il existe une épaisseur minimale d'acier à partir de laquelle l'agression par une pelle mécanique donnée ne perce pas la canalisation, mais aboutit à un défaut stable (type d'enfoncement ou de rayure) qui n'évolue pas au moment de l'impact vers une fuite (VALIN & al, 2008b).
- **Marquage de la canalisation :** le transporteur peut décider de renforcer la signalisation afin de matérialiser au mieux le tracé de la canalisation dans le sol (VALIN & al, 2008b).
- **Bande de servitude :** une bande plus étroite, généralement de l'ordre de 4 ou 5 mètres de large, comprenant elle-même une servitude non-aedificandi, l'interdiction de plantation de végétaux à racines profondes susceptibles d'endommager le revêtement de la canalisation et l'autorisation de passage des équipes selon les nécessités et sous réserve du paiement des dommages causés (DIGARD, 2004).
- **Mise en profondeur :** le transporteur peut décider d'abaisser la canalisation ou de créer un merlon de terre lorsqu'il souhaite améliorer le facteur correctif

d'environnement correspondant à la profondeur d'enfouissement (VALIN & al, 2008b).

2. Barrière organisationnelle :

- **Surveillance du tracé** : la surveillance du tracé fait partie des mesures pour prévenir le risque de perte de confinement de l'ouvrage. Cette mesure préventive est appliquée depuis l'origine par l'ensemble des transporteurs pour déceler et suivre les modifications de l'environnement autour de l'ouvrage.

La surveillance du tracé peut consister en :

- La mise en place d'une ou plusieurs méthodes de surveillance du sol.
- L'adaptation de fréquence de mise en œuvre de celle (s)-ci aux risques engendrés par l'environnement (VALIN & al, 2008b).
- **Sensibilisation des riverains** : le transporteur met en place des mesures de sensibilisations que définit lui-même, en argumentant ses choix. Il en définit, notamment, les caractéristiques dans les domaines suivants :
 - Identification des personnes ou organismes à sensibiliser,
 - Nature de sensibilisation,
 - Fréquence des sensibilisations,
 - Contenu des actions de sensibilisation. (VALIN & al, 2008b).

Discussion

Le modèle présenté permet au propriétaire des canalisations de gérer d'une façon rapide, et avec exactitude les différentes sections de la canalisation présentant des points névralgiques pour la sécurité de l'homme, du matériel (installation) et de l'environnement.

La combinaison de plusieurs modèles dans un seul modèle définit la complexité de la gestion de la canalisation qui s'étend sur une géographie diverse, utilisant des technologies différentes d'où une information fiable représente l'élément clé qui va alimenter un processus de décision en agissant sur plusieurs dimensions : financières, protection des installations, de l'homme et de l'environnement.

Conclusion

La gestion des risques est une démarche systématique qui suit une méthodologie générale pour l'évaluation des risques. Cependant, dans notre travail, nous avons présenté une

nouvelle méthodologie spécifique aux canalisations de transport basée sur les systèmes d'information pour manipuler le flux important de l'information qui caractérise les canalisations de transport avec une longueur très importante et qui passe par un territoire très vaste. L'aspect géographique de ces informations a imposé aux gestionnaires des risques l'utilisation des systèmes d'information géographique comme outil d'aide à la décision pour pallier à la lenteur de la prise de décision et la précision de cette dernière.

Donc cette nouvelle méthodologie d'évaluation des risques est fondée sur les Systèmes d'Information Géographique (SIG).

Pour mettre en pratique cette nouvelle méthodologie, une étude de cas a été réalisée, sur une canalisation de transport de gaz naturel GK3 de TRC-SONATRACH, dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III

***ETUDE DE CAS: ELABORATION D'UNE
CARTOGRAPHIE DES RISQUES PAR LE SIG
(Cas de SONATRACH)***

Introduction

En application du modèle de gestion des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation développé et proposé dans le chapitre précédent et de l'exploitation des statistiques du premier chapitre, nous avons travaillé sur une canalisation de transport des hydrocarbures appelé GK3 véhiculant du gaz naturel appartenant à l'activité de transport par canalisation (TRC) de SONATRACH.

Ce projet s'étend sur une distance très longue représentant un sujet d'application très important. Mais vu plusieurs contraintes, nous avons choisi de travailler uniquement sur une distance de 93Km de la wilaya de Guelma et ceci par rapport à la disponibilité des données nécessaires à cette étude qui se base sur l'information représentant sa pierre angulaire.

Dans ce chapitre, nous avons exploité le modèle développé pour définir une nouvelle méthodologie de gestion de risques générés par les canalisations de transport des hydrocarbures basée sur les systèmes d'information géographique pour éclaircir davantage le processus de prise de décision.

III.1. Description de l'ouvrage

III.1.1 Description du projet

Le Système de Transport par Canalisation GK3 est un gazoduc d'une longueur de 784 km et d'un diamètre de 48 pouces.

Afin de mieux en garantir l'achèvement dans les délais requis et dans les meilleures conditions, ce grand ouvrage de transport a été, notamment, scindé en trois tronçons :

- Le premier tronçon reliera Hassi R'mel à Chaiba dans la Wilaya de Biskra. Sa longueur est de 270 Km.
- Le second ira de Chaiba à Mechtatine dans la Wilaya de Batna sur une distance de 163 Km.
- La troisième et dernière partie du GK3 suivra un tracé qui reliera d'abord Mechtatine à Tamelouka dans la Wilaya de Guelma pour atteindre ensuite la wilaya de Skikda, puis la wilaya d'El Tarf dans la région d'El Kala.

Ce projet est d'une importance stratégique dans la part que prend le segment d'activité transport par canalisations dans le succès du plan de développement de SONATRACH et

dans la contribution à la réalisation des programmes de développement du secteur énergétique en Algérie. Ainsi :

1. Le gazoduc GK3 qui traversera onze wilayas va augmenter la capacité de transport des volumes de gaz naturel de 9 milliards de m³ par an.
2. Il va contribuer à augmenter la capacité des systèmes de transport existants, le GK1 et le GK2, de 15 milliards de m³ par an et à assurer l'alimentation du futur Méga Train de GNL de Skikda.
3. Il permettra l'approvisionnement en gaz naturel de la centrale électrique de Koudiet Edrouach dans la Wilaya d'El Tarf et celle de F'Kirina dans la wilaya de Oum El Bouaghi.
4. Le GK3 contribuera également à répondre, dans le cadre de la mise en œuvre des politiques publiques, aux attentes de nos concitoyens en matière d'alimentation en gaz naturel.
5. Le GK3 ouvre des perspectives concrètes au projet Galsi, la canalisation transcontinentale conçue pour relier directement l'Algérie à l'Italie via la Sardaigne, et démontre de l'esprit de suite avec lequel SONATRACH s'inscrit dans la politique nationale de développement et d'exportation des hydrocarbures.

III.1.2 Délimitation de la zone d'étude

Ce travail de recherche se focalise sur la wilaya de Guelma, et ce, pour les raisons suivantes :

- La disponibilité des données pour répondre aux objectifs de ce travail.
- Le temps alloué à ce travail qui ne permet pas d'aller sur tout le tracé malgré son importance.
- La grande quantité d'informations relatives à ce projet.
- L'indisponibilité des données relatives aux wilayas de passage du tracé.

Le tracé passe par sept communes de la wilaya de Guelma avec une longueur (tronçon PC05-ELKALA) de 93Km comme illustré dans Tab. (III.1):

Tab. (III.1): Commune du passage de tracé GK3 (G.ENV, 2009).

Ouvrage concentré/PK	Daïra	Commune
P.C 06 (100+644)	Ain Makhlouf	Tamlouka
P.S 34 (PK110+214)	Ain Makhlouf	Tamlouka
P.S 35 (PK120+970)	Ain Makhlouf	Ain Makhlouf
P.P 6 (PK125+861)	Ain Makhlouf	Ain Makhlouf
P.S 36 (PK128+682)	Ain Makhlouf	Ain Larbi
P.S 37 (PK139+097)	Ain Makhlouf	Ain Larbi
P.S 38 (PK146+185)	Khazara	Khazara
P.S 39 (PK156+524)	Khazara	Khazara
P.P 7 (PK 165+169)	Guelaat Bousbaa	Benimezline
P.C 7 (PK 169+511)	Boucheouf	Boucheouf
P.S 40 (PK178+060)	Boucheouf	Oued Fraga
P.S 41 (PK 188+480)	Boucheouf	Oued Fraga

III.1.3 Profil du tracé de GK3

Le GK3 traverse sept communes de la wilaya de Guelma. Il a été sectionné en 10 tronçons, et ce chaque 10 km avec les auxiliaires comme montré dans la Fig. (III.1).

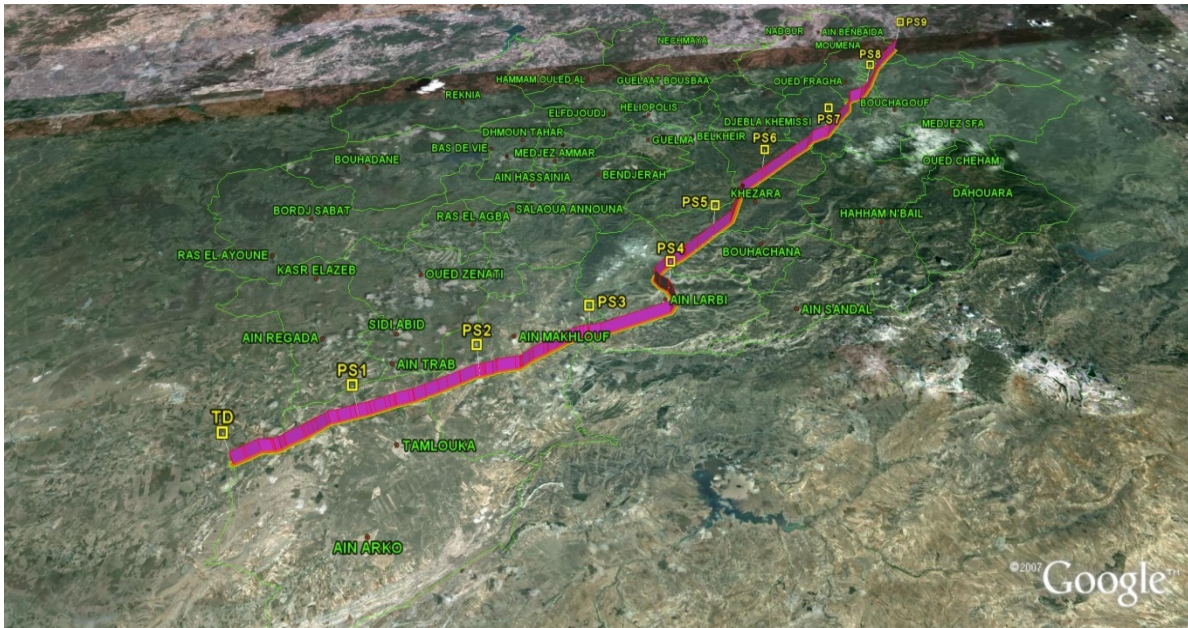


Fig. (III.1): Profil du tracé de GK3/Guelma 93km.

III.1.4 Caractéristique du gazoduc

Les principales données relatives à la canalisation GK3 sont résumées dans le Tab. (III.2) suivant :

Tab. (III.2): Caractéristiques de la canalisation de transport GK3 (G.ENV, 2009).

Paramètre du gazoduc	Caractéristiques
Diamètre externe du pipeline	48 " soit 1219 mm
Longueur étudiée	93km
Pression maximale d'exploitation	71bar
Température de conception souterraine	Souterraine :-5°C à 40°C Hors terre :-40°Cà +40°C
Température normale d'exploitation	55°C
Matériel et épaisseur	Nuance de l'acier : API 5L X 70 Epaisseur : mm Revêtement intérieur : Epoxy Revêtement extérieur : PEHD tri couche.
Substances transportées	GAZ naturel
Largeur de l'emprise	10m
Hauteur de recouvrement	1 m zone Ia et 0.8 zone II et III
Longueur de sectionnement	10 km ou 20 km

III.1.5 Caractéristiques du gaz naturel transporté

Le gaz naturel transporté par la canalisation GK3 est composé de plusieurs gaz dont les concentrations les plus élevées sont liées au Méthane (CH₄), 82,97 %, l'Ethane (C₂H₆) ,8.23 % et l'Azote ,5.12 %. D'autres caractéristiques physiques sont indiquées dans le Tab. (III.3) suivant.

Tab. (III.3): Caractéristiques du gaz naturel transporté par GK 3 (G.ENV, 2009).

Elément	Composition moyenne %
Azote (N₂)	5.12
Dioxyde de carbone (CO₂)	0.23
Méthane (CH₄)	82.97
Ethane (C₂H₆)	8.23
Propane (C₃H₈)	2.19
N butane	0.35.
I butane	0.35
N Pentane (C₅H₁₂)	0.14
I Pentane	0.13
N Hexane (C₆H₁₄)	0.09
PCS Kcal/cm³	9.5
H₂O (PPM)	30
Poids Spécifique (Cond Nor)	0.8473 Kg/NM ³
Densité relative (Cond Nor)	0.66
Viscosité (Std)	0.128 cst

III.1.6 Conditions d'exploitation du Gazoduc

Les conditions d'exploitation du gazoduc sont estimées par les valeurs mentionnées dans le Tab. (III.4) indiqué ci-dessous :

Tab. (III.4): Paramètre d'exploitation du GK3 (G.ENV, 2009).

Paramètres	Valeurs
Fraction vapeur	1.0
Température (C°)	50.0
Pression maximale d'exploitation	71bar
Débit massique (Kg/H)	1915709
Débit volumique (sm3/h)	2377400
Densité (kg/m3)	57.59
Masse molaire (kg/mol)	19

III.2. Description de l'environnement

III.2.1. Conditions météorologiques

Cette zone d'étude est caractérisée par un climat méditerranéen humide à subhumide avec une pluviométrie moyenne qui varie entre 500 et 600 mm suivant la zone. Les conditions météorologiques nécessaires pour la modélisation sont la température et le vent.

III.2.2 Température :

Les données des températures annuelles de la région où se trouve la wilaya Guelma sont indiquées dans le Tab. (III.5) suivant:

Tab. (III.5): Températures moyennes de la wilaya de Guelma (G.ENV, 2009).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Tem (°C) Moy	10	10.1	12.6	14.4	19.5	24.4	27	27.5	23.6	19.7	14.3	11

III.2.3 Les vents

La stabilité annuelle de la vitesse de vent de la région où se trouve la wilaya de Guelma est indiquée dans le Tab. (III.6):

Tab. (III.6): La vitesse moyenne des vents (G.ENV, 2009).

Mois	Jan	Fév.	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
V(m/s)	2.0	2.1	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	2.0	1.7	2.2	2.0	1.8

III.2.4 La population

Selon l'Office Nationale des Statistiques (ONS), la population totale de la wilaya de Guelma était estimée en juillet 2008 à 468 820 habitants. Son taux est évalué pour les années 2005 -2008 de 1.23% .Le nombre de la population des communes concernées par le tracé est indiqué dans le Tab. (III.7) ci-dessous.

Tab. (III.7): RGPH de la wilaya de Guelma en 2008 (ONS, 2011).

Communes	Population RGPH 1998	Population estimée 2008
Tamlouka	16640	18894
Ain Makhlouf	11018	12300
Ain Larbi	7756	7604
Khazara	8154	10382
Hammam N'bail	15854	16199
Bouchegouf	20921	25443

III.3. Analyse de risque

III.3.1 Identifications des scénarios d'accidents majeurs

Cette étape vise à identifier les sources de dangers reliés à la canalisation de transport du gaz naturel par la méthode HAZID, Tab. (III.8), afin de déterminer les scénarii d'accidents majeurs et de lister les mesures de prévention et de protection en place.

L'identification des dangers a été établie selon les critères suivants :

- Substances transportées: propriétés chimiques et physiques.
- Canalisations et équipements annexes: construction et exploitation (non concernée par l'étude).
- Interaction fluide – canalisation.
- Interaction environnement – canalisation.

III.3.2 Résultats de l'analyse HAZID

À l'aide des données obtenues dans le cadre de la session HAZID et de l'analyse des enseignements tirés d'accidents ou d'incidents survenus sur des ouvrages comparables, des scénarii d'accidents sont établis avec des brèches de référence. Les résultats de l'analyse HAZID sont présentés dans le Tab. (III.8) ci-dessous :

Tab. (III.8): Identification des sources de dangers par la méthode HAZID.

Danger	Causes	Conséquences	Probabilité	Gravité	Mesures de sécurité
Dangers liés à la conception					
Matériaux non adaptés aux conditions de services extrêmes	Erreur de choix des matériaux	Corrosion Fuite, rupture	P3	G4	Applications des normes et critères de conception
Matériaux sur accessoires (vanne, joints, etc..) réagissant avec le produit ou ses impuretés non adaptés aux conditions de services extrêmes	Erreur de choix des matériaux	Corrosion Fuite, rupture	P3	G3	Applications des normes et critères de conception
Accessoires ayant une résistance mécanique insuffisante (piquage sous dimensionnés)	Erreur de choix des matériaux	Fuite, rupture	P3	G4	Applications des normes et critères de conception
Défaillances des joints et des presses et étoupe des vannes	Erreur de choix des matériaux Pratiques de construction ou maintenance inadéquate	Fuite, rupture	P3	G3	Applications des normes et critères de conception Procédures d'entretien Inspection avant la mise en service
Défaillance de la protection cathodique due à un courant de fuite aux joints isolant	Pratiques de construction ou maintenance inadéquate	Fuite, rupture	P2	G3	Inspection, vérification, mesure des potentiels
Dangers liés au fonctionnement					
Surpression	Coup de bélier par fermeture trop rapide de	Fuite, rupture	P3	G4	PSV, réponse de l'opérateur à HSA

	la vanne				
	Pompage de produit sur vanne aval fermée	Fuite, rupture	P3	G4	PSV, réponse de l'opérateur à HSA
	Mise en contact de deux pressions de services maximales différentes	Fuite, rupture	P3	G4	PSV, réponse de l'opérateur à HSA
	Elévation de température suite à un incendie à l'extérieur	Fuite, rupture	P3	G4	PSV, réponse de l'opérateur à HSA
	Expansion thermique	Fuite, rupture	P2	G4	PSV, réponse de l'opérateur à HSA
	Déflagration et détonation au sein de la canalisation	Fuite, rupture	P2	G4	PSV, réponse de l'opérateur à HSA
Haute température	Incendie à l'extérieure	Fuite, rupture	P3	G4	PSV, réponse de l'opérateur à HSA
Basse température			P2	G3	
Haut débit	Erreur opératoire	Erosion Fuite, rupture	P2	G4	Surépaisseur

Corrosion	<ul style="list-style-type: none"> - Défaillance à la protection cathodique due au courant vagabond interférent. - Pratique de construction ou de maintenance inadéquate 	Fuite, rupture	P3	G4	<ul style="list-style-type: none"> - Revêtement (époxyde) - Protection cathodique - Etude des courants vagabonds
Danger lié aux travaux					
Impact externe	Excavation	Fuite, rupture	P3	G4	<ul style="list-style-type: none"> - Servitude de 20m - Ruban avertisseur - Dalle en béton à la traversée de route - inspection régulière
Piquage en charge 'hot tape ' ou obturation en charge	Mauvaise procédure d'opération	Fuite, rupture	P3	G4	
Danger lié aux produits					
Dilatation du liquide et de la phase gazeuse par augmentation de température	Mauvaise procédure d'opération	Fuite, rupture	P2	G3	
Abrasion par grande vitesse	Mauvaise procédure d'opération	Fuite, rupture	P2	G3	
Charge électrique statique par écoulement	Mauvaise procédure d'opération	Fuite, rupture	P2	G3	

Danger naturel					
Séisme	Mauvaise conception des installations	Fuite, rupture	P2	G4	Exigence de coefficient de sécurité (flexibilité du pipeline)
Glissement de terrain	Mauvaise conception des installations	Fuite, rupture	P3	G4	Inspection de routine
Inondation	Mauvaise conception des installations	Fuite, rupture	P2	G3	Applications des normes et critères de conception

III.3.3 Scénario de référence

A la suite de l'étude de la revue HAZID, il a été retenu que le scénario le plus dangereux est la rupture d'un tronçon de canalisation qui va émettre une grande quantité de gaz à l'atmosphère comme expliqué ci-dessous :

Tab. (III.9): Scénario retenu pour l'étude

Scénario	Equipement considéré	Description	Phénomène modélisé	Effets quantifiés
Un tronçon de la canalisation	Tronçon N°04 à 71 bars	Rupture franche sur 48''	- Dispersion d'un nuage inflammable	- Effets de surpression.
		Moyenne fuite sur 48''	- VCE	- Effets thermiques
		Petite fuite sur 48''	- Boule de feu - Feu alimenté	

III.3.4 Probabilité d'occurrence de l'événement

Les calculs des fréquences génériques de défaillance sont basés sur des données extraites du Handbook failure frequencies.

Tab. (III.10): Fréquence de défaillance pour les canalisations (Heirman, 2009).

Canalisation aérienne		Canalisation enterrée	
Type de défaillance	Fréquences de défaillances [/an]	Type de défaillance	Fréquences de défaillances [/m.an]
Petite fuite $D_{\text{éq}} = 0.1D$	$2.8 \cdot 10^{-7} L/D$	Crack $D_{\text{éq}} = 10\text{mm}$	$7.9 \cdot 10^{-8}$
Fuite moyenne $D_{\text{éq}} = 0.15D$	$1.2 \cdot 10^{-7} L/D$		
Grande fuite $D_{\text{éq}} = 0.36D$	$5.0 \cdot 10^{-8} L/D$	Trou $D_{\text{éq}} = 0.5 D$	$6.9 \cdot 10^{-8}$
Rupture	$2.2 \cdot 10^{-8} L/D$	Rupture	$2.8 \cdot 10^{-8}$

L = longue du pipeline (m) (au moins 10 m)

D = diamètre intérieur (mm).

III .3.5 Fréquence d'occurrence des conséquences

L'estimation réaliste des fréquences d'ignition est un paramètre essentiel de l'évaluation des conséquences d'accident et du niveau de risque qui leur est associé. De ce fait, le purple book (DE HAAG & ALE, 1999) recommande les valeurs figurant dans le Tab. (III.11) ci-dessous :

Tab. (III.11): Probabilité d'ignition en une minute (DE HAAG & ALE, 1999).

Source	Probabilité d'ignition dans une minute
Source ponctuelle	
Véhicule	04
Torche	1.0
Four à l'extérieure	0.9
Four à l'intérieur	045
Chaudière à l'extérieur	0.45
Chaudière à l'intérieur	0.23
Source linéaire :	
Source de transmission	0.2 par 100m
Route	Note 1
Chemin de fer	Note 1
Source surfacique	
Installation chimique	0.9 par site
Raffinerie de pétrole brut	0.9 par site
Source de population	
Résidentiel	0.01 par personne
Force (employment)	0.01 par personne

La fréquence d'occurrence de chaque conséquence est montrée sur l'arbre d'événement, ci-après. Ces fréquences d'occurrence d'événement sont basées sur les fréquences de fuites calculées ci-dessus et sur les probabilités d'ignition et d'explosion.

Ces probabilités d'ignition et d'explosion dépendent de la nature du produit libéré et de la masse du produit concerné par la défaillance :

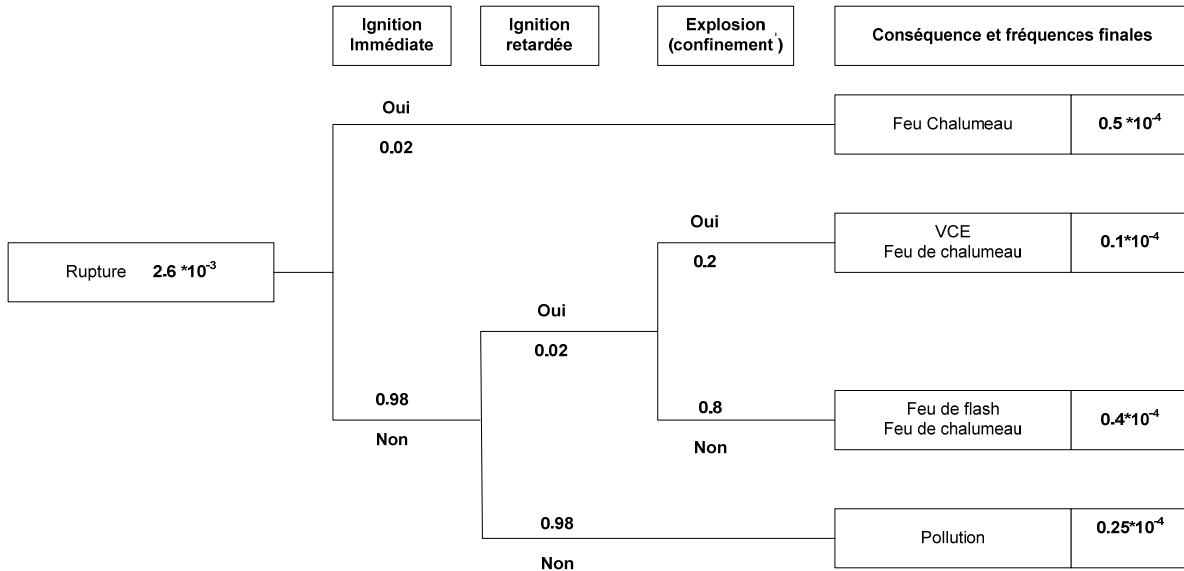


Fig. (III.2): Arbre d'événements de la rupture de GK3

Le calcul des fréquences finales se fait comme suit :

Feu Chalumeau (FC) = $(2.6 * 10^{-3}) * 0.02$

Vapour cloud explosion (VCE) = $(2.6 * 10^{-3}) * 0.98 * 0.02 * 0.2$

Feu de Flash (FF) = $(2.6 * 10^{-3}) * 0.98 * 0.02 * 0.2$

Pollution = $(2.6 * 10^{-3}) * 0.98 * 0.98$

Donc les événements retenus pour cette étude sont résumés dans le tableau suivant:

Tab. (III.12): Evénements redoutés

Evénement	Fréquence d'occurrence
Feu de chalumeau	10^{-3}
VCE	0.1×10^{-4}
Feu de Flash	0.4×10^{-4}
Pollution	0.25×10^{-4}

En tenant compte des moyens de prévention en place, on aura ce scénario :

Tab. (III.13): Criticité des événements retenus

N°	Événement	Probabilité	Gravité	Criticité
1.1	Feu de chalumeau	P2	G4	Inacceptable
1.2	VCE	P1	G4	ALARP
1.3	Feu de Flash	P1	G4	ALARP
1.4	Pollution	P1	G3	ALARP

La criticité des événements retenus est montrée sur la matrice de décision comme le Tab. (III.14):

Tab. (III.14): Matrice de Décision

gravité	1				
	2				
	3	1.4			
	4	1.2 1.3	1.1		
		1	2	3	4
		Probabilité			

III .3.6 Analyse des conséquences des événements

L'analyse des conséquences relatives aux scénarii retenus sera effectuée à l'aide du logiciel PHAST (version 6.54).

Le logiciel PHAST est un outil informatique de modélisation intégrée au logiciel SAFETI. PHAST a été rigoureusement validé et vérifié. La théorie et la performance du modèle unifié de dispersion (UDM) développé par DNV ont également été analysées de façon indépendante dans le cadre des projets financés par la Communauté Européenne (SMEDIS,

réf. /14/). Le modèle a excellé sur les plans de la théorie et de la performance et représente le standard pour l'évaluation des conséquences d'accidents (DNV, 2005).

Le calcul des conséquences par le logiciel PHAST nécessite l'introduction des données qui passe par plusieurs étapes.

III .3.6.1 Données de la modélisation

Pour le scénario 'rupture catastrophique de la canalisation GK3 » les données des modèles sont indiquées dans le Tab. (III.15).

Tab. (III.15):Données de la modélisation du scénario retenu

Item	Paramètre	Données		
Condition de transport du gaz	Type de produits	Gaz Naturel- Méthane (82,97%)		
	Quantité de produits	11 304 m ³		
	Température	55°C		
	Débit massique	532,14 Kg/s		
	Pression de transport	71bar		
Scénario	Type de scénario	rupture catastrophique		
	Lieu de décharge	en dehors des bâtiments		
	Phase de décharge	Gazeuse		
	Distance de point de décharge	2Km		
canalisation	Diamètre interne	1195,26mm		
	Epaisseur	11,98 mm		
	Longueur modélisée	10 km		
Calcul d'effets	Méthode de calcul de surpression	TNT		
	Méthode de calcul de radiations	Voir Tab. (II.1)		
	Seuil de référence -Surpression	2,5 KW/m ²	10 KW/m ²	37 KW/m ²
	Seuil de référence -Radiations			
Données météorologiques	facteur de rugosité	/		
	Température de moyenne	17,84 °C		
	Condition du vent	1,9 m/s _F		

III.3.6.2 Résultat de la modélisation

Le résultat de la modélisation définit les différentes conséquences caractérisées par les distances de ses effets sur les personnes, les structures et l'environnement. Pour chaque conséquence, seules les conditions météo donnant "les zones d'effet" les plus vastes sont représentées. Les plans comprennent en général deux types de courbes, la plume' qui représente la portée de l'événement en considérant la direction de vent la plus fréquente et l'effet qui représente la zone couverte en considérant les vents dans toutes les directions.

III.3.7 Discussion des résultats

III.3.7.1 Résultat concernant 'la concentration de gaz'

Le gaz sortant lors de la rupture se met à la pression atmosphérique ($P=1\text{bar}$), vu la densité du gaz ($d=0,66$) inférieure à celle de l'air ($d=1,29$), le gaz se disperse et gagne rapidement de très grandes surfaces ainsi que la durée de la phase pré accidentelle, se déroulant entre l'événement initiateur et l'événement redouté central, est instantanée. De même, la durée de la phase post accidentelle, se produisant entre l'événement central redouté et la fin du phénomène, sera immédiate.

Comme montrée dans la Fig. (III.8). Il ya trois concentrations de gaz dispersé qui peuvent être dangereuse sur des distances déterminées :

- Une Zone en rouge riche en méthane où on dépasse la limite supérieure d'inflammabilité qui s'étend sur une distance de 150 m, dans ce cas, le risque d'inflammabilité est minime.
- Une Zone en jaune qui va jusqu'à 260 m. Dans cette zone, les concentrations du gaz et l'oxygène se trouvent dans une proportionnalité qui peut donner naissance à un incendie si une étincelle se présente.
- Une Zone en bleu qui à 300 m, pauvre en méthane d'où sa concentration en mélange avec l'oxygène ne présente aucun risque d'inflammabilité.

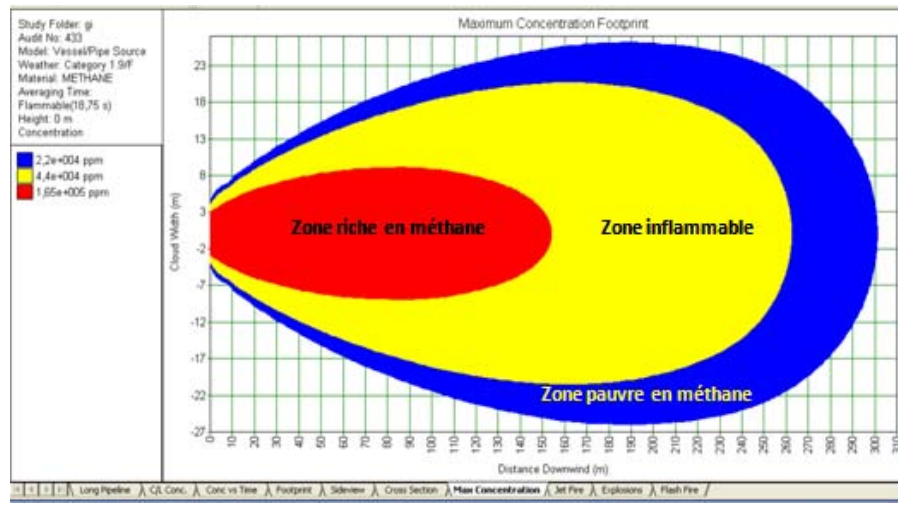


Fig. (III.3): Concentration de gaz modélisée par PHAST.

III.3.7.2 Résultat concernant ‘la radiation de feu de chalumeau’

En présence d'une étincelle qui peut être générée par une ligne électrique, un véhicule, un engin d'excavation, etc., le risque d'inflammabilité se présente et donne l'apparition du phénomène d'un feu de chalumeau. Ce dernier émet des radiations dangereuses qui détermineront la distance de ses effets dangereux. Les normes donnent plusieurs valeurs à l'ampleur du danger. Dans cette étude, nous avons choisi de travailler avec les trois valeurs ($2,5 \text{ KW/M}^2$, 10 KW/M^2 , 37 KW/M^2).

La figure, Fig. (III.8), montre les distances relatives à ces valeurs :

- Une distance de 900 m pour la valeur de $2,5 \text{ KW/M}^2$
- Une distance de 540 m pour la valeur de 10 KW/M^2
- Une distance de 380 pour la valeur de 37 KW/M^2

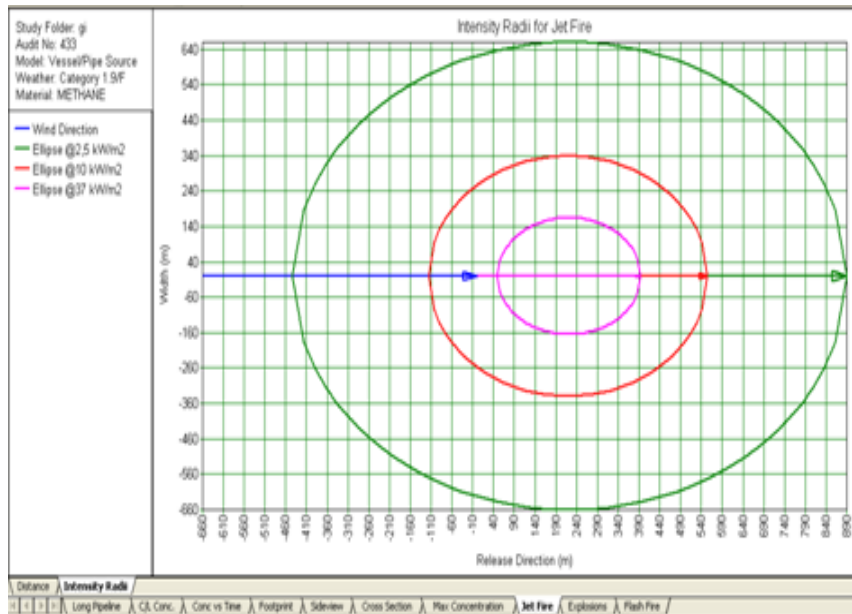


Fig. (III.4): Intensité de radiation de feu de chalumeau modélisée par PHAST.

III.3.7.3 Résultat concernant ‘le VCE’

Un autre phénomène qui résulte de l’inflammabilité du gaz est le VCE (Vapour Cloud Explosion). Ce dernier, vient de l’effet de souffle lié à la vitesse du front de la flamme et ceci peut atteindre des distances considérables, car, il est le résultat d’une ignition retardée.

- Une distance de 1700 m pour une pression de 0, 02068 bars.
- Une distance de 960 m pour une pression de 0, 1379 bars.
- Une distance de 910 m pour une pression de 0,2068 bars.

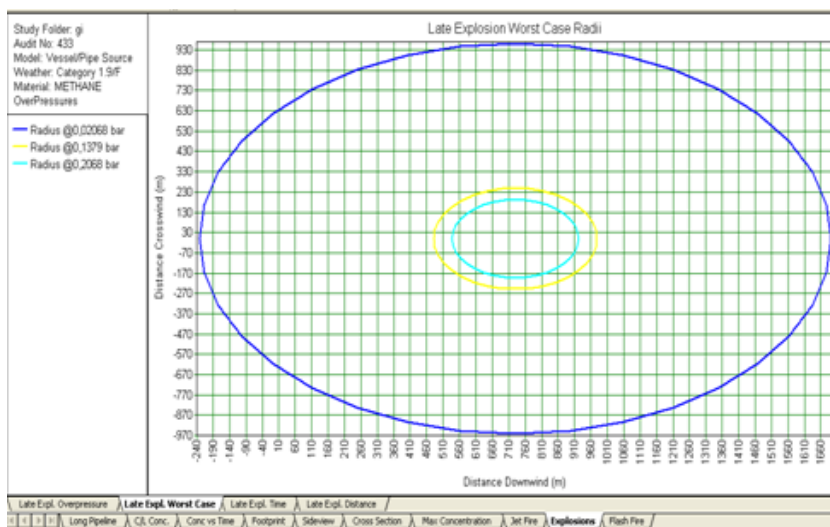


Fig. (III.5): Distance d’une explosion retardée modélisée par PHAST.

III.3.7.4 Résultat concernant 'le feu de flash'

Le dernier résultat concerne un phénomène aussi caractéristique à la dispersion et à l'inflammabilité des gaz qui est le feu de flash. Ce dernier est caractérisé par les limites :

- Limite Inferieure d'Inflammabilité, LII (en bleu) : peut atteindre une distance de 710 m.
- Limite Inferieure d'Inflammabilité, LSI (en vert) : peut atteindre une distance de 450m.

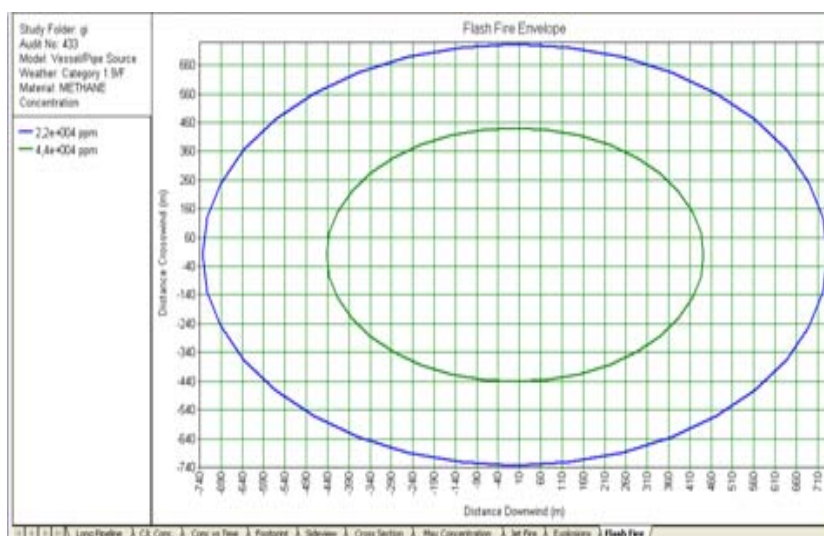


Fig. (III.6): Distance d'un feu de flash modélisée par PHAST.

L'étude de ces distances peut avoir plus d'importance avec une représentation géographique qui donne au décideur s'intéressant à ces phénomènes une image claire sur l'environnement de son apparition et les dégâts qui peuvent être engendrés. De ce fait, nous avons étudié ces résultats avec un autre logiciel : L'ArcGIS couplé avec le PHAST, afin de mieux illustrer son importance. Alors, une brève présentation de ce logiciel est nécessaire.

III.3.8 Utilisation d' ArcGIS 10.

Le logiciel **ArcGIS** développé par ESRI (Environmental Science Research Institute) avec différents modules essentiellement ArcMap, ArcCatalogue et ses extensions ,notamment, 'Spatial Analyst' a été utilisée pour la mise en place d'une base de données qui est, d'une part, utilisée comme fond de base dans le logiciel de simulation PHAST et ,d'une autre part, pour représenter les résultats obtenus après une simulation faite par ce dernier .

III.3.8.1 Les données de base

Pour pouvoir mettre en place une base de données SIG il faut avoir des données de base (VALIN. &al, 2008a).

- La description de l'ouvrage,
- l'analyse de l'environnement des ouvrages (milieux humains et physiques),
- les catégories d'emplacement,
- l'analyse des risques pour l'ouvrage retenu,
- l'étude des points singuliers,
- les dispositions compensatoires proposées,
- la cartographie.

Cette liste n'est pas exhaustive, en général, toutes les données relatives à la canalisation sont nécessaires.

III.3.8.2 Différentes étapes de travail

1^{ère} Etape : Géo référencement

Cette étape est la plus importante. C'est dans cette dernière qu'on met en place les données de base sous le même référentiel de coordonnées. On parle de projection cartographique et de système de coordonnées. Dans notre cas, nous avons utilisé la projection UTM (Universel Transvers Mercator) et le système de coordonnées WGS 84 zone 32, c'est le calage des cartes de base (SWISS UNIVERSITY, 2011)

2^{ème} Etape : Création des couches d'information

Cette étape consiste à créer les couches graphiques en format vecteur ainsi que la base de données attributaire correspondante. Dans notre cas, les couches cartographiques créées sont :

- les réseaux routiers et hydrographiques.
- le découpage administratif des communes.
- le découpage des secteurs d'intervention de la protection civile.
- le danger naturel (glissement terrain et inondation).
- les forêts.

- les agglomérations.
- les Localités.

Chaque couche cartographique contient les données attributaires nécessaires pour faire une analyse spatiale telles que les superficies, les longueurs, le nombre de population etc...

3^{ème} Etape : Interopérabilité (échange de données)

Les couches sont mises en place dans la base de données. ArcGIS permettra une passerelle avec le logiciel PHAST pour une simulation des distances des différents cas de danger, la base de données sera exploitée sous PHAST et jouera le rôle d'un support et de fond de base. Une fois les simulations sont achevées, une autre exportation est réalisée vers le logiciel ArcGIS.

4^{ème} Etape : Analyse spatiale

L'analyse spatiale d'ArcGIS fournit une large gamme de possibilités spatiales puissantes pour modéliser et analyser. On peut créer, questionner, tracer, et analyser des données attributaires, exécuter l'analyse intégrée de raster/vecteur, dériver la nouvelle information des données existantes (ESRIFRANCE, 2011), questionner l'information à travers des couches données multiples et intégrer entièrement les données attributaires avec des points d'émission des données traditionnelles de vecteur. Dans notre cas, on donne par exemple les outils suivants :

- **Clip** : cet outil est utilisé pour couper un morceau d'une classe d'entité en utilisant un ou plusieurs paramètres ou d'autres entités dans d'autres couches ou dans la même couche. C'est particulièrement utile pour créer une nouvelle couche d'entités d'études ou des résultats d'analyse (BRUGEROLLE, 2007).
Dans notre étude, cet outil nous a aidé à calculer et délimiter la population exposée et affectée par le risque (fuite, explosion, etc....).
- **Buffer ou zone tampon** : Une zone tampon (buffer zone) est une zone à distance fixe autour d'entités spatiales (zones de protection, zones d'influence...). Cette zone est circulaire autour des points, forme un corridor autour d'une ligne, et une zone tampon autour d'un polygone (LEPINARD, 2008).

- **Network analyst** : est une extension puissante qui fournit une analyse spatiale basée sur le réseau incluant les directions de voyage, les installations les plus proches l'analyse des zones de services. Grâce à l'utilisation d'un réseau de données sophistiquées, les utilisateurs peuvent facilement construire des réseaux de leurs situations à partir des données des Systèmes d'Information Géographique (SIG). Network Analyst permet aux utilisateurs de modéliser de façon dynamique les conditions réelles du réseau, y compris les restrictions, les limites de vitesse, les restrictions de hauteur, les conditions de circulation, et ce, à différents moments de la journée (ESRIFRANCE, 2011)

III.3.9 Représentation des résultats de PHAST par ArcGIS

Dans notre cas, l'outil ArcGIS, nous permet de mieux représenter les distances obtenues par PHAST sur la carte de base pour pouvoir visualiser les zones exposées aux risques liés au passage de la canalisation.

Le couplage des résultats issus du logiciel PHAST (Distances d'effets) avec le logiciel ArcGIS a permis de bien visualiser les effets des phénomènes étudiés.

III.3.9.1 L'effet "feu de flash" (flash fire)

L'utilisation de l'ArcGIS pour représenter l'effet de flash sur la ville de Ain Larbi permet de montrer les distances atteintes par ce phénomène, montré ci-après :

Tab. (III.16): Population exposée aux effets de radiations (Feu de flash).

Type danger	Nom ville	Superf touchée (he)	Densité (hab/ha)	Population exposée	distance (m)
Feu de flash	Ain LARBI	33,021	91,727	3029	720
Feu de flash	Ain LARBI	12,123	91,727	1112	430

La population atteinte est caractérisée par la densité populaire de la zone qui est calculée par le logiciel ArcGIS, selon la formule suivante :

$$\text{Densité (hab /hec)} = \frac{\text{Nombre d'habitants exposés(habitant)}}{\text{La superficie touchée (hectare)}}$$

-**hab** : habitant

-**hec** : hectare

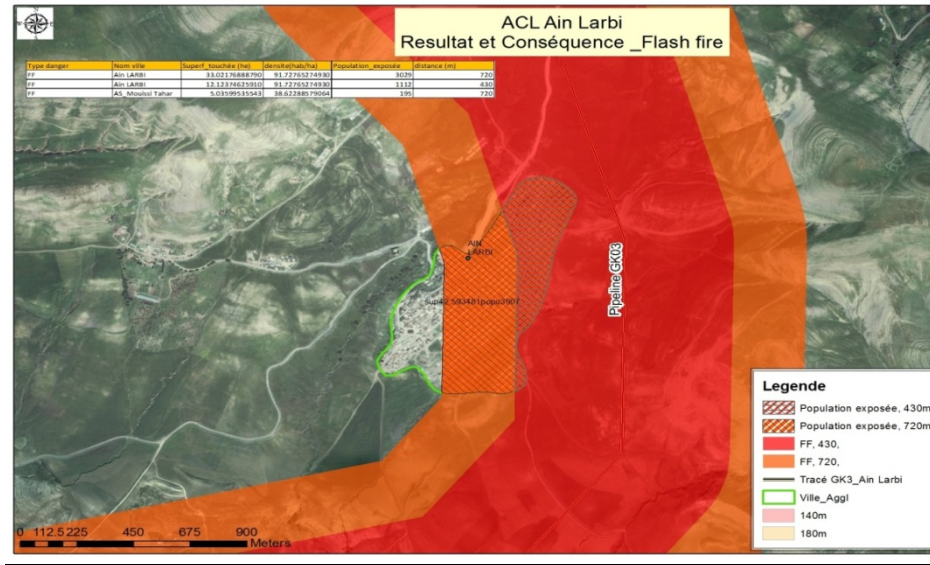


Fig. (III.7): Population exposée aux effets de radiations (Feu de flash) de la ville de Ain Larbi par ArcGIS.

III.3.9.2 Feu de chalumeau

Le “feu de chalumeau” (jet fire) apparait suite à une perte de confinement (rupture de la canalisation) quand le gaz échappé coïncide immédiatement avec une source d’inflammation correspondant à l’ignition directe.

L’ignition retardée (absence de source d’inflammation directe et dispersion importante du gaz échappé) avec confinement provoquera le phénomène de VCE qui finira par un feu de chalumeau ; sans confinement cette ignition retardée donnera plutôt naissance à un feu de flash qui finira aussi par un feu de chalumeau.

Cela est indiqué dans le Tab. (III.18) sur des distances différentes relatives à une radiation donnée, par exemple, la distance de 890 m est liée à une radiation de 2,5 KW/M². Dans ce cas, la population exposée est estimée à 3758 Habitants sur une superficie de 41 hectares, soit une densité de 91 habitants par hectare.

Tab. (III.17): Population exposée aux effets de radiations (feu de chalumeau).

Type danger	Nom ville	Superf. touchée (he)	Densité (hab/ha)	Population exposée	distance (m)	Radiation
Feu de chalumeau	Ain Larbi	40,971	91,727	3758	890	2.5 kw/m ²
Feu de chalumeau	Ain Larbi	21,510	91,727	1973	550	10 kw/m ²
Feu de chalumeau	Ain Larbi	9,117	91,727	836	390	37.5kw/m ²

La Fig. (III.13), montre clairement l’exposition de la ville d’Ain Larbi aux différentes radiations comme indiqué dans la légende.

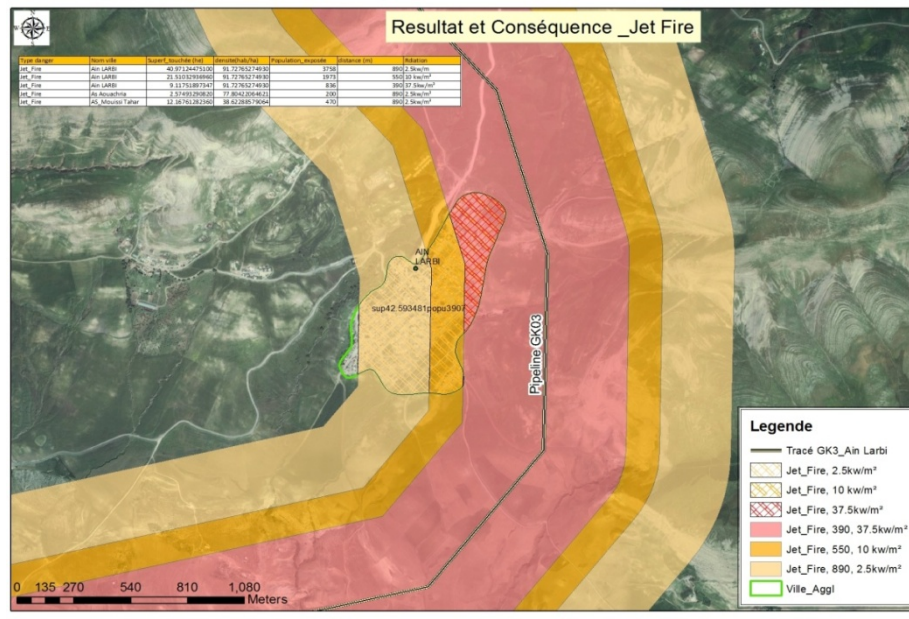


Fig. (III.8): Population exposée aux effets de feu de chalumeau /Ville Ain Larbi) par ArcGIS

III.3.9.3 VCE

Les résultats de la modélisation présentent un effet du phénomène de “VCE” qui s’étend sur des distances importantes relatives aux différentes valeurs de surpression générées par le modèle de calcul de la surpression qui est le modèle TNT.

Le Tab. (III.19) montre que la ville de Ain larbi et ces parcelles sont exposés aux effets de surpression avec une densité, par exemple, pour une valeur de surpression de 0, 02068 la

distance d'effets calculée de 1680 avec une population exposée exprimée par densité de 42,59 hab/hec.

Tab. (III.18): Ville de Ain Larbi exposée aux effets de surpression (VCE).

Type danger	Nom ville	Superf touchée (he)	Densité (hab/he)	Population exposée	distance (m)	Surpression (bar)
VCE	Ain LARBI	42,590	91,72	3907	1680	0.02068
VCE	Ain LARBI	42,495	91,727	3898	960	0.1379
VCE	Ain LARBI	41,941	91,727	3847	920	0.2068

Les données représentées dans le Tab. (III.19) sont montrées sur la carte géographique de la Fig. (III.14) pour illustrer l'exposition de la ville de Ain Larbi aux effets du VCE.

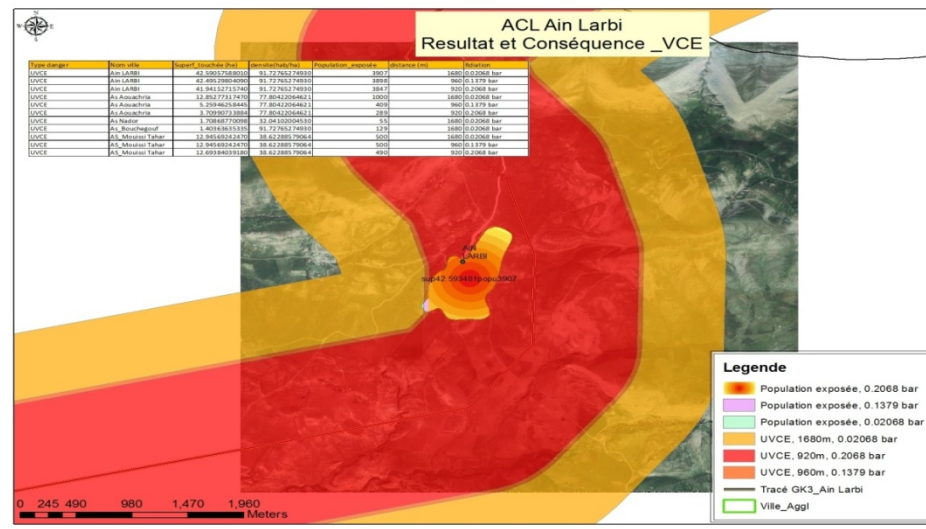


Fig. (III.19): Population exposée aux effets de UVCE /Ville Ain Larbi par ArcGIS.

III.3.9.4 Feux de forêts

L'autre résultat intéressant du couplage du logiciel ArcGIS et PHAST est la gestion des feux de forêts, car cela montre une large surface exposée aux phénomènes "VCE", "feu de chalumeau", "feu de flash", et cela donne des superficies différentes relatives à chaque valeur comme indiqué dans le Tab. (III.20) suivant :

Tab. (III.19): Conséquences des effets d'explosions /incendie sur les forêts.

Type	Distance	Rdiation	Superf (Hé)
VCE	1680	0.02068 bar	9784,33
Feu de chalumeau	390	37.5kw/m ²	2365,71
Feu de chalumeau	550	10 kw/m ²	3300,96
Feu de chalumeau	890	2.5kw/m ²	5269,59
VCE	920	0.2068 bar	5443,78
VCE	960	0.1379 bar	5676,12
Feu de flash	720		4284,03
Feu de flash	430		2601,55

En plus, la superficie exposée concerne des surfaces de reboisement, des maquis et des forêts moins denses comme illustrées dans Fig. (III.15 suivante :

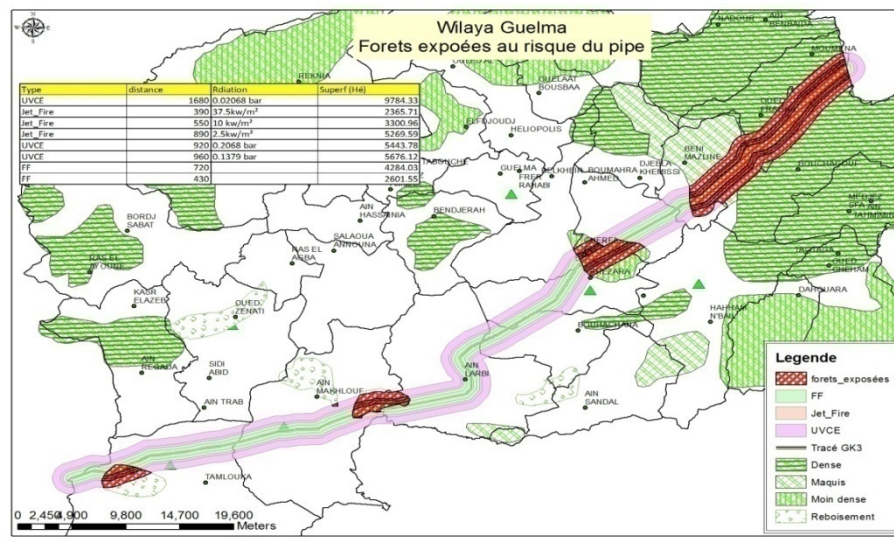


Fig. (III.10): Forêts exposées aux risques liés à la canalisation GK3 par ArcGIS.

III.3.9.5 Gestion des interventions

Dans le cas étudié, penser à une intervention prend en compte le facteur temps d'intervention. Pour cette raison, l'utilisation d'ArcGIS par sa fonction **ArcGIS network analyst** a aidé à définir le chemin le plus court pour les sièges de la protection civile et

même les sièges des centres médicaux les plus proches. Fig. (III.16), au sinistre pour intervenir.



Fig. (III.11): Chemin le plus court avec Network Analyst de l'ArcGIS .

Les résultats présentés sur les cartes géographiques montrent la nécessité de faire apparaître l'apport des Système d'Information Géographique pour la prise de décision liée au transport des hydrocarbures par canalisation.

Conclusion

Les résultats obtenus dans cette partie de l'étude montre l'importance de la combinaison entre le logiciel PHAST comme outil de calcul des conséquences et le logiciel ArcGIS comme outil de représentation géographique et d'aide à la décision, ainsi que d'autres outils d'analyse tels que le Network Analyst.

Suite aux résultats obtenus qui montrent l'exposition de la ville de Ain LARBI aux phénomènes générés par une perte de confinement du gaz transporté, il est suggéré :

- d'informer la population limitrophe des actions de préservation à entreprendre pour éviter l'apparition de ces risques.
- de changer le tracé de cette canalisation afin de s'éloigner de la population.

- de faire des exercices de simulation périodiques entre les services de protection civile et les secteurs sanitaires pour développer les réflexes d'intervention rapide en cas de catastrophe.

Une contribution intéressante de cette étude est marquée par la combinaison des deux logiciels : le PHAST et L'ArcGIS ainsi que d'autres outils d'analyses (Network Analyst) pour aboutir à une analyse minutieuse et précise ainsi qu'à une modélisation des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation. Les résultats de cette contribution importante dans la prise de décision dont l'apport peut, éventuellement, s'étaler à d'autres aspects qui feront l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE IV

***ETUDE DE L'APPORT DES SIG DANS LA
GESTION DES RISQUES LIES A LA
CANALISATION DE TRANSPORT DES
HYDROCARBURES
CAS CANALISATION GK3 DE L'ACTIVITE
TRC- DE SONATRACH***

Introduction

Les réseaux de canalisations de transport des hydrocarbures sont un des maillons essentiels de l'industrie pétrolière. Compte tenu de l'importance, de l'immensité et de la dispersion des ses installations et ouvrages. Il est impératif d'utiliser un système de gestion automatisé permettant d'analyser avec un maximum de rapidité et d'efficacité les problèmes de plus en plus complexes auxquels ces installations sont confrontées, et ceci, par la maîtrise de toutes les informations et données en temps réels pour la gestion physique du réseau de canalisations et ses accessoires, de prévoir des plans futurs d'intervention, d'entretien et de maintenance.

La construction et l'entretien d'un tel réseau nécessitent, durant toute la durée de vie de la canalisation, une étude approfondie des conditions environnementales et des zones occupées par la population (construction) à une distance proche du tracé. Un SIG peut être utilisé pour minimiser l'impact de la canalisation pendant la construction et pendant l'exploitation et pour gérer de manière optimale les opérations de maintenance et de surveillance de cette canalisation afin d'éviter tout accident et fuite de produit.

L'objectif de ce chapitre est de mettre en exergue en quoi un SIG peut contribuer pour aider les managers et autorités à la prise de décision grâce à sa capacité de stockage de données, sa rapidité d'accès et sa puissance de l'analyse spatiale.

Ainsi, nous nous proposons de montrer l'apport réel que peut avoir le SIG dans la gestion des crises, dans la maintenance préventive, dans l'amélioration de la prise de décision et dans l'optimisation des coûts de l'exploitation des installations.

IV.1 Flexibilité de la gestion des données liées à la canalisation GK3

IV.1.1 Intégrations des données

L'un des principaux atouts des SIG est de fournir une gestion unique de l'ensemble des données relatives à la canalisation et à son environnement. Cette association des objets, des données et de la géographie dans un SIG (cas d'une traversée de route sur une gaine en béton) permet à l'activité TRC- SONATRACH de disposer des critères de décision qui lui permettent de définir des plans d'action optimaux à travers un seul outil d'aide à la décision de tous les paramètres ayant une importance dans l'atteinte d'un niveau de sécurité satisfaisant. Ainsi, à l'aide de requêtes adéquates, il est possible de croiser des éléments de

fiabilité du réseau (résultats d'inspection, densité d'activités tierces) avec des notions de gravité des conséquences d'un accident éventuel (densité de population, cours d'eau, ERP) pour définir un niveau de risque composite qui pondère les conséquences d'un accident par sa probabilité d'occurrence.

Alors, les efforts peuvent être concentrés sur les points les plus importants tout en restant compatibles avec les réalités économiques qui s'imposent. Notons, enfin, que le déploiement des SIG au sein des réseaux informatiques permet un accès partagé aux informations et concourt de fait à une plus grande efficacité.

IV.1.2 Présentation des données

Un autre atout des SIG est de s'appuyer sur de puissants outils de représentation graphique dynamique qui sur la base de l'aspect statique de la carte avec toutes les insuffisances en termes de temps, d'évolution des données attributaires grâce à des filtres qui permettent de présenter les informations pertinentes selon les objectifs recherchés. Ces facilités de présentation favorisent, grandement, l'efficacité des analyses et minimisent les risques d'erreur, car plusieurs accidents ont été le résultat d'une mauvaise localisation de la canalisation. Par conséquent, les risques d'erreur sont grandement réduits et l'efficacité des interventions sur ou à proximité de la canalisation est optimisée (ADAM, 1999).

IV.1.3 Modélisation

Outre les aspects de rapprochement géographique de données mentionnées précédemment, la structure de la base de données qui est partie intégrante des SIG permet d'étudier l'historique des données à travers la fonction "*Méta données*". Cette capacité de quantifier l'évolution passée des paramètres relatifs à la canalisation et à son environnement est essentielle. Elle permet, en effet, de prévoir et de modéliser l'évolution de ces paramètres dans le futur et ainsi d'anticiper et d'accompagner ces changements par des mesures adéquates (ADAM, 1999).

En plus de ces aspects liés aux apports des systèmes d'information (intégration des données, rapidité d'accès à l'information ou donnée nécessaire à la prise de décision), il est très important d'étudier l'apport des SIG dans la gestion des risques liés au transport du gaz naturel (l'homme, l'installation (ouvrage GK3), et l'environnement), ainsi l'approche du risque est abordée par rapport à tout facteur comme suit :

- **L'homme** : étude des différentes distances qui peuvent atteindre les radiations et les surpressions dangereuses pour la santé humaine et cela sera une base de connaissance pour les décideurs de l'autorité publique pour une meilleure gestion urbaine d'où la gestion des évacuations en cas d'urgence et, ainsi, l'optimisation du temps d'intervention pour protéger la population qui se trouve aux alentours.
- **L'installation** : étude de meilleures pratiques pour une bonne exploitation du réseau en termes de surveillance des causes de corrosion, tiers parti, dangers naturels, etc.
- **L'environnement** : cet élément important est géré par le SIG d'une manière efficace et ceci par la définition des surfaces qui peuvent être affectées par un feu de forêt, par exemple.

Cette approche fera l'objet d'une étude détaillée dans ce chapitre.

IV.2. Gestion de la planification et le développement urbain

IV.2.1 Planification urbaine

Les urbanistes bénéficieront à travers le SIG de l'identification la plus rapide et la plus facile des zones où des projets de développement peuvent aller en conflit avec la canalisation GK3, Fig. (IV.1).

De même, un suivi dans le temps de l'urbanisation autour du réseau permettra d'apprécier l'avenir de cette urbanisation et d'anticiper d'éventuelles dérives problématiques afin de mieux planifier les infrastructures, réduire le nombre de hits potentiels, accroître la sécurité des travailleurs, et de minimiser les dommages dus aux ruptures accidentelles de la canalisation. Cela permet une réduction du temps et des efforts en matière de planification qui pourrait résulter des cartes standardisées et plus accessibles (OPS TEAM, 1999).

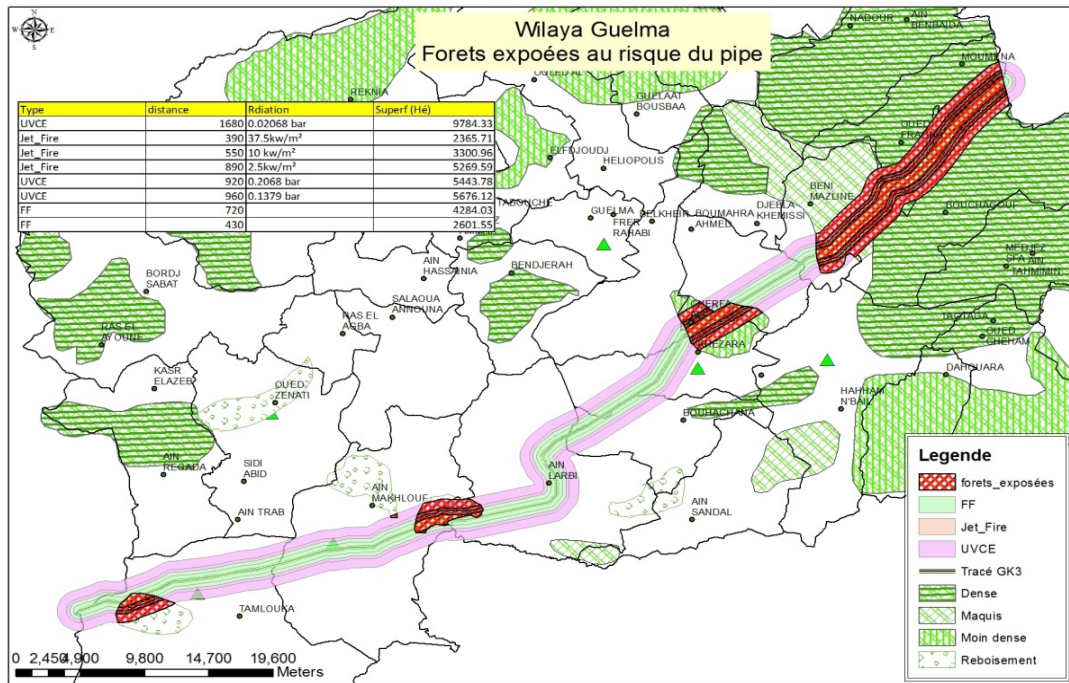


Fig. (IV.1): Zones en conflit avec le développement urbain par ArcGIS .

IV. 2.2 Développement urbain.

Une fois les données liées aux risques relatifs au passage à la canalisation GK3 sont évaluées, traitées et stockées dans le SIG, Fig. (IV.2), cela va permettre aux autorités locales, lors de la mise en place des PDAU (Plan d'Aménagement Urbain) et des POS (Plans d'Occupation des Sols) de prendre en considération les limites de la zone exposée aux risques liés à cette canalisations et ne pas planifier des constructions dans cette zone.

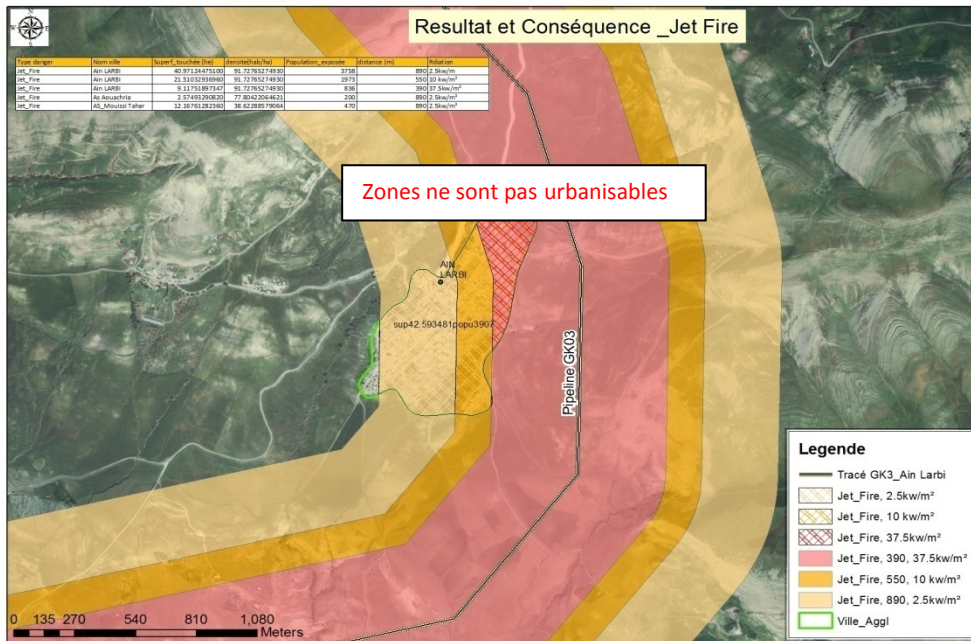


Fig. (IV.2): Simulation des zones urbanisables par ArcGIS.

IV.3 Gestion des urgences

IV.3.1 Planifications des urgences

Le Plan d'Intervention Interne (PII) préparé par les exploitants de la canalisation GK3 se compose, généralement, de plusieurs plans d'action à multi scénarii. Les opérateurs peuvent tirer des avantages économiques en formulant des plans d'intervention plus rapide et exhaustive.

Un avantage économique peut, également, être tiré provenir de la réduction de l'effort dans la compilation des données de localisation de la canalisation, des secteurs d'interventions (Protection civile) et les secteurs sanitaires, Fig. (IV.3). Selon les informations mises à disposition sur la cartographie, les plans de réponse pourraient inclure la meilleure information concernant l'emplacement des canalisations, l'accessibilité, et les plans permettant de cibler les zones sensibles (OPS TEAM, 1999).

Les responsables d'interventions peuvent, par conséquent, être en mesure de mettre en place un plan plus réaliste basé sur "what if" scénarii. Dans de tels scénarii, ils seraient en mesure de représenter la région autour de la canalisation défaillante et de communiquer rapidement les conséquences potentielles durant les événements. Les exploitants des canalisations qui utilisent les SIG ou d'autres systèmes de cartographie électronique pourraient bénéficier de

la combinaison des cartes de canalisation avec d'autres couches de données pour applications.



Fig. (IV.3): Secteurs d'intervention et de gestion des urgences par ArcGIS.

IV.3.2 Optimisation du temps de la réponse aux urgences

Le SIG permet une baisse de l'effort d'identification des canalisations sinistrées et la localisation géographique des hôpitaux, des casernes de la protection civile, des différents partenaires économiques formant le PAM (Plan d'Aide Mutuelle). Il peut faire face aux accidents liés aux transports des hydrocarbures en un temps record, et ce, par l'utilisation des raccourcis les plus proches au lieu de l'incident/accident afin d'évacuer les accidentés et d'intervenir pour réduire et éliminer les conséquences de l'incident/l'accident, Fig. (IV.4).

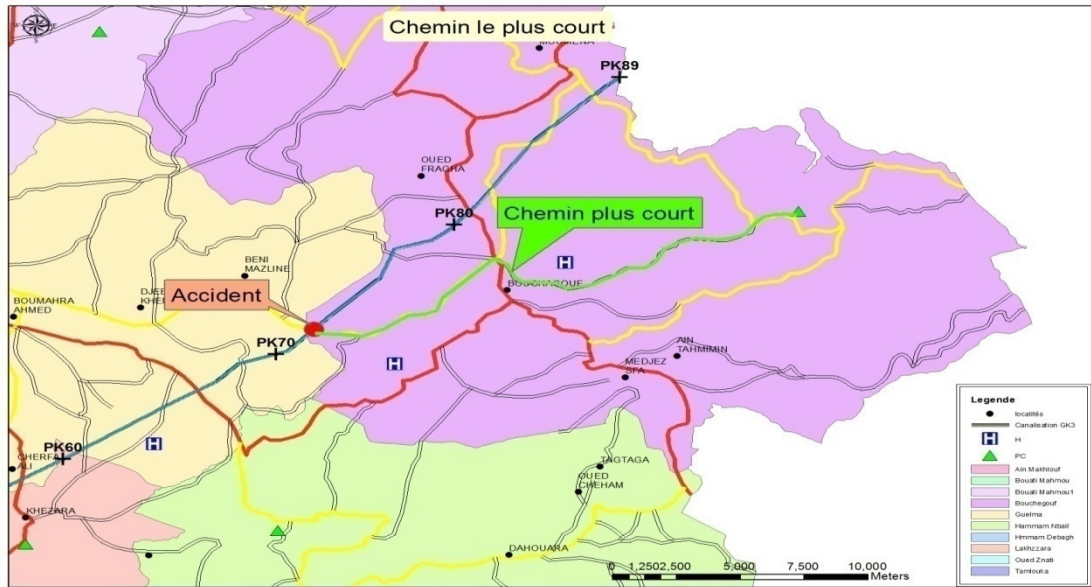


Fig. (IV.4):Délimitations des chemins d'intervention les plus courts par ArcGIS.

IV.4. Gestions de l'intégrité des canalisations

IV.4.1 Gestions de la corrosion

La corrosion est une menace importante pour les canalisations. Il est possible de visualiser sur une zone, les caractéristiques agressives du sol, telles que la résistivité, le type et la concentration des sels contenus dans le sol (LARA, 2009). D'autre part, il est aussi possible d'ajouter aux données précédentes les résultats d'une inspection online, pour classer ses défauts par les différents niveaux de sévérité et aussi d'identifier les zones de concentration de grande anomalie. Une autre donnée importante peut être acquise : connaître le niveau de protection cathodique, le taux de corrosion autour des domaines spécifiques, ce qui est également possible de réaliser par une visualisation sur la même carte, Fig. (IV.5). Pour traiter toutes ces informations sur une zone spécifique, le SIG permet d'identifier clairement les zones critiques sur la canalisation GK3, à l'endroit des agents qui affectent la canalisation, à savoir: les tâches historiques des mesures d'atténuation mises en œuvre et de fournir une vision intégrale sur le problème principal, et enfin trouver la solution en vue de prendre la décision appropriée et les mesures d'atténuation pour contrôler les risques pouvant affecter la canalisation.

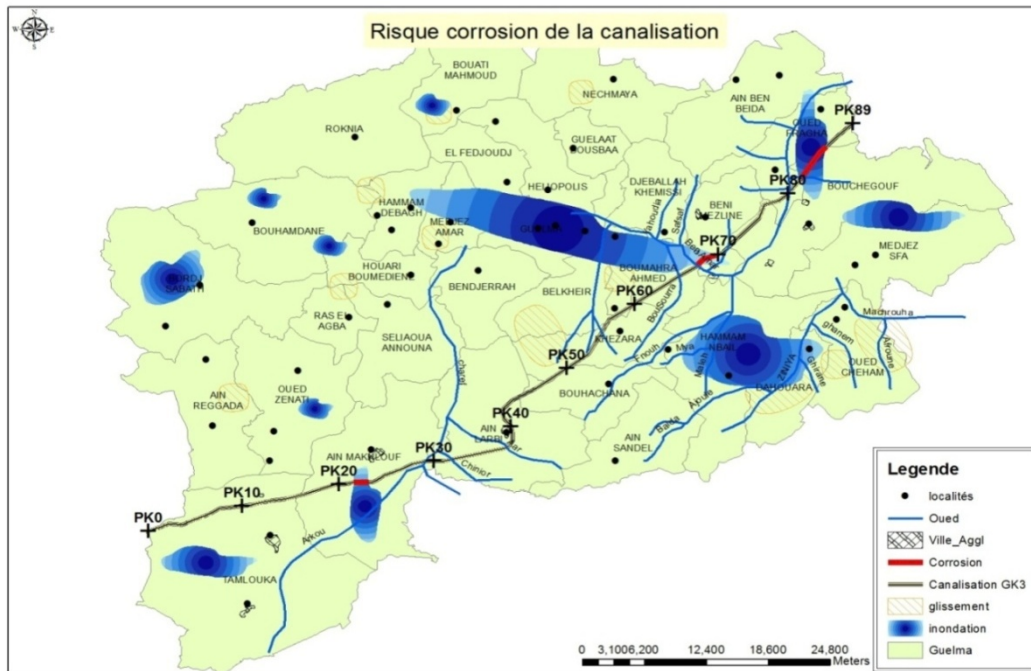


Fig. (IV.5): Visualisation du risque de la corrosion sur la canalisation GK30 par ArcGIS.

IV.4.2 Gestion de tierces parties

Les dommages liés aux tierces parties sont une autre menace importante qui affecte les canalisations et augmente les inquiétudes de l'activité TRC-SONATRACH. Il est, donc, nécessaire de surveiller, d'adapter et de contrôler les conditions de sécurité dans le droit de passage du tracé et de réaliser un plan de sensibilisation rigoureuse du publique. C'est pour cette raison que les processus et les procédures de contrôle ont été développés à partir du système SIG de manière à atteindre cet objectif. Les nouvelles technologies telles que les images satellites ont changé les tâches de surveillance dans la zone de passage de la canalisation. Nous pouvons citer, à titre d'exemple, la surveillance des bâtiments autour des canalisations, où les conditions de conduites sont régulièrement surveillées. Cette tâche est maintenant beaucoup plus facile avec des images satellitaires à haute résolution prises à différents points dans le temps (LARA, 2009). Ces images sont interprétées en décomposant les différents éléments étudiés, et en les comparant avec des images prises à des moments différents pour détecter les nouveaux bâtiments et/ou les installations qui peuvent affecter les conditions de sécurité des canalisations. Afin de s'assurer que cette méthodologie

d'analyse demeure efficace, il est nécessaire de définir la fréquence de ces images satellites selon les résultats obtenus dans les enquêtes précédentes.

IV.4.3 Amélioration de l'entretien des canalisations

Les exploitants peuvent bénéficier de l'avantage de l'amélioration de l'entretien des canalisations, en localisant plus efficacement les canalisations pour le personnel de terrain afin de réaliser la maintenance curative ou préventive de la canalisation.

On appliquera ces principes aux données issues des inspections successives par racleurs instrumentés. Cela permettra d'évaluer, le cas échéant, l'évolution future de défauts présents dans les canalisations et de prévoir les mesures préventives adaptées.

IV.5. Optimisation des efforts (capacité) de contrôle des autorités

Les organismes publics qui réglementent la vérification des canalisations pourront tenir compte des avantages économiques d'une meilleure gestion et de stockage des données de localisation des canalisations et des cartes. Ils peuvent, également, réaliser des améliorations d'efficacité lors de la surveillance des canalisations, cela permettra de réduire les efforts et d'optimiser les coûts relatifs aux contrôles réglementaires (OPS TEAM, 1999).

IV.5.1 Amélioration de la vérification des canalisations

Moins de temps à passer peut être très bénéfique et plus accessible pour la vérification des canalisations en raison des cartes standard. Selon les informations fournies par le SIG, des avantages économiques, sociaux et environnementaux peuvent provenir d'une meilleure capacité d'identification des zones nécessitant une vérification améliorée en raison de facteurs de risque comme la proximité de populations denses. En plus, d'autres avantages économiques peuvent également être tirés en évitant des contrôles inutiles dans les zones à faible risque (OPS TEAM, 1999).

IV.5.2 Meilleure réponse aux enquêtes publiques

L'activité TRC-SONATRACH responsable de la canalisation GK3 (gazoduc) reçoit de nombreuses demandes des autorités et du public concernant l'emplacement des canalisations. Les réponses nécessitent un effort significatif de la part des exploitants de la canalisation GK 3 pour trouver des cartes géographiques pertinentes. L'avantage

économique de l'utilisation du SIG découlera de l'efficacité, de l'amélioration et de la réduction des efforts et du temps pour répondre aux demandes de renseignements.

IV.5.3 Réduction des visites de vérifications sur le champ

Une réduction du nombre de notifications de vérifications des opérateurs peut conduire à une réduction du nombre des visites de vérifications sur site.

Les exploitants de la canalisation GK3 pourraient bénéficier économiquement de l'envoi sur le terrain de moins de travailleurs et par conséquent, contribuer à la réduction des dépenses, de l'effort, et du temps nécessaire pour répondre aux réclamations. Cela apparaît très important surtout dans les régions éloignées.

IV.6. Optimisation des coûts

IV.6.1 Diminution des pertes de produits

Les exploitants de la canalisation GK3 connaissent bien l'impact lié aux pertes de produits. Alors, l'intervention rapide en utilisant le SIG peut contribuer efficacement à la détection la plus rapide possible des sources de rejets de produits. Ceci, permettant de réagir plus vite par la fermeture des vannes de sectionnement, Fig. (IV.6), qui sont à l'origine à fermeture automatique, mais en cas de défaillance (bloquée ouverte), une demande d'intervention manuelle est nécessaire pour minimiser une éventuelle perte de produits.



Fig. (IV.6):Emplacement des vannes de sectionnement sur la canalisation GK3 .

IV.6.2 Diminution des dommages du matériel

L'intervention rapide peut minimiser les dommages matériels des accidents qui en résultent des pertes importantes pour les enjeux exposés aux conséquences de l'incident/accident. L'intervention des parties responsables peut être nécessaire pour indemniser les personnes lésées, et aussi peut engager diverses expertises d'évaluation des dommages et de prendre en charge les frais de justice. Par conséquent, l'atténuation des dommages matériels entraînera des économies de coûts (avantages économiques) pour toutes les parties.

IV.7. Gestion de l'impact environnemental

Les fuites liées aux canalisations provoquent des pertes de produits pouvant nuire aux ressources naturelles dans une zone donnée. Selon l'ampleur et la localisation des rejets, des impacts négatifs se produisent sur la faune et la flore résultant de l'effet des incendies (conséquences de la fuite).

L'amélioration de l'évaluation des risques et le management environnemental peut aider les gestionnaires des ressources naturelles à avoir de l'information sur l'emplacement de la canalisation pour effectuer des évaluations des risques et la gestion des ressources environnementales. Plus précisément, dans l'évaluation des risques, les gestionnaires des ressources naturelles peuvent identifier les futurs problèmes possibles associés à la canalisation en question.

Les figures Fig. (IV.7), Fig. (IV.8) illustrent bien l'apport réel des SIG dans la détection de la vulnérabilité des forêts exposées aux risques liés à la canalisation GK3 de l'activité TRC-SONATRACH.

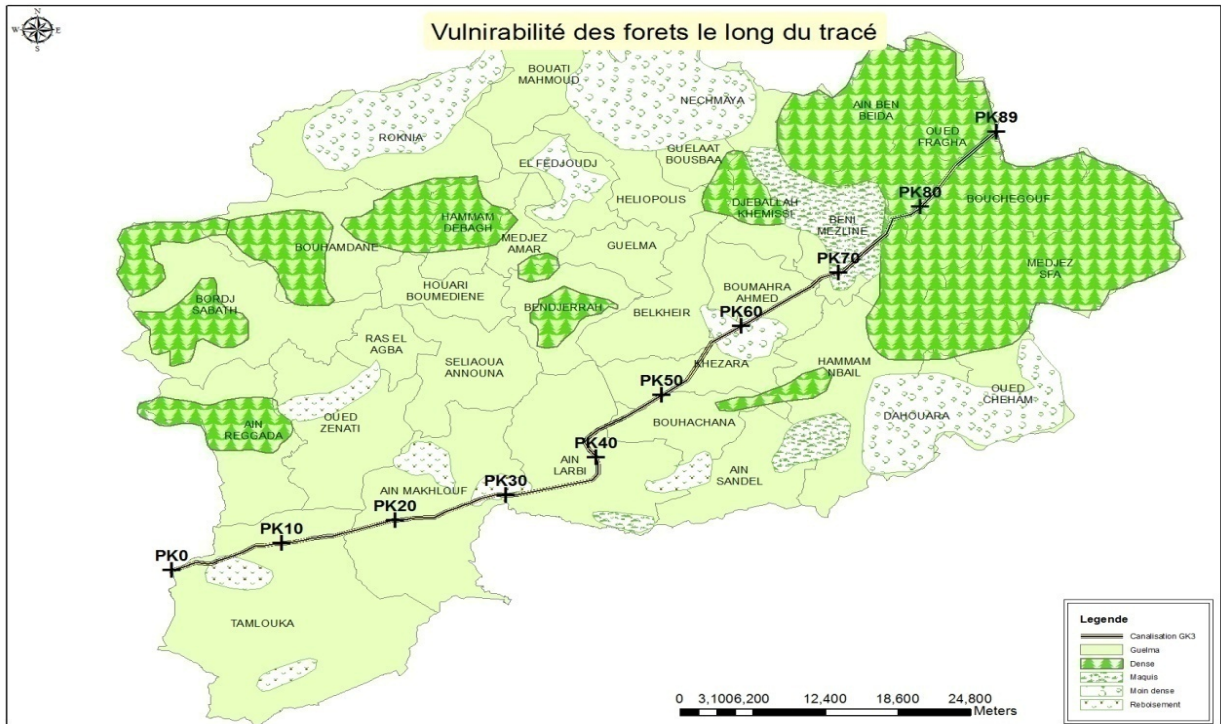


Fig. (IV.7): Vulnérabilité des forêts le long du tracé de la canalisation GK3 par ArcGIS

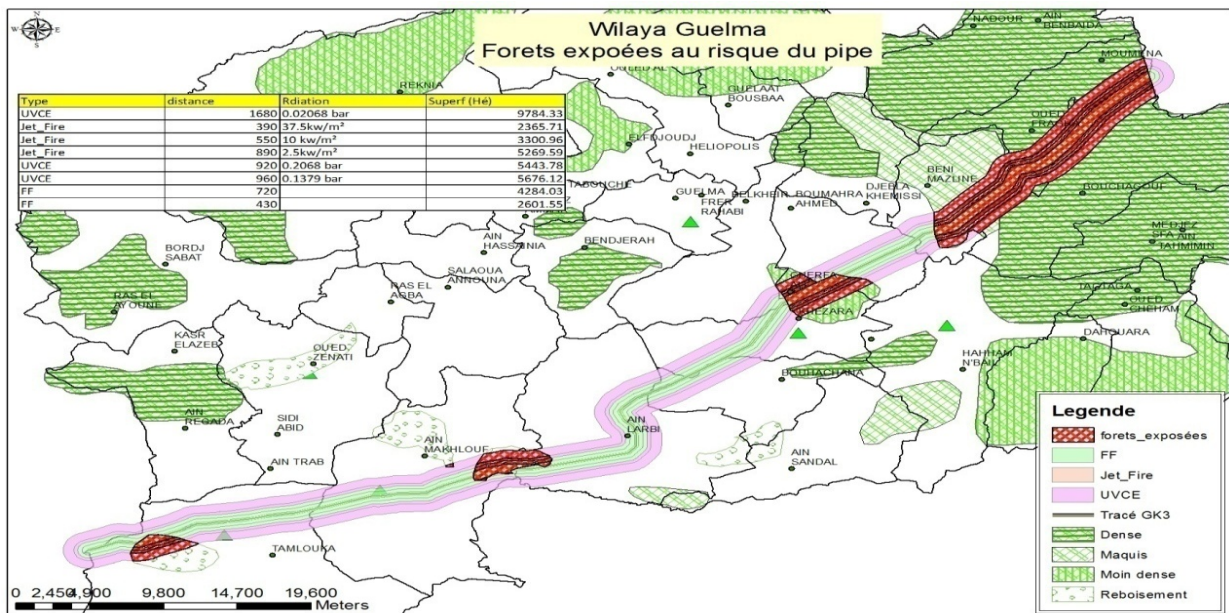


Fig. (IV.8): Forêts exposées aux risques liés à la canalisation GK3 par ArcGIS.

Conclusion

Suite à la présentation des différentes contributions mises en exergue dans cette partie de l'étude, le développement d'un SIG s'avère important et coûtera nettement moins cher que les pertes liées :

- à l'insécurité des hommes et des habitations à proximité des ouvrages ;
- à l'atteinte de l'environnement ;
- aux pertes de production et de commercialisation des hydrocarbures suite à un éclatement de la canalisation (avantage économique).

En plus de ces apports concrets, le SIG présente les avantages de la liaison entre les planificateurs des données spatiales et les experts de la sûreté des canalisations durant le processus de prise de décision face aux risques et facilite la communication avec le grand public par la transparence, l'accessibilité et à la diffusion de l'information relative aux risques liés au transport par canalisation.

Conclusion générale

Le système de transport des hydrocarbures par canalisation est une solution technologique s'étendant géographiquement sur un vaste territoire. Ceci nécessite des technologies et des méthodologies visant à soutenir l'identification des segments de la canalisation qui sont potentiellement exposés aux risques de défaillances (BERSANI &al, 2009) et de dégradations durant la phase d'exploitation. Les causes telles que montrées par le retour d'expérience relatif aux accidents/incidents étudiés dans ce travail de recherche, suite à la consultation des différentes bases de données existantes (ARIA, EGIG, CONCAWE, YOKOPA ...etc.) incluent en grande partie la corrosion, les tierces parties et en faible degré les mouvements de terrains, ou risques naturels en général, la conception et l'erreur opérationnelle. Ces causes prises individuellement ou en combinaison conduisent à une perte de confinement caractérisée par une fuite ou une rupture (DAWOTOLA &al, 2010), engendrant des conséquences importantes sur l'homme, le matériel et l'environnement.

Donc, une évaluation des risques générés par le transport des hydrocarbures par canalisations est nécessaire pour l'exploitant de la canalisation GK3 (SONATRACH-TRC) afin de mettre en place un plan préventif permettant de neutraliser ces risques à la source.

Dans une évaluation de risques, la question principale dépend de la collecte et de l'analyse des données sur les événements accidentels déjà survenus, les caractéristiques technologiques opérationnelles et environnementales de la canalisation en question. Ces données seront la base de la prise de décision. Vu la longueur importante de la canalisation, les décideurs doivent manipuler une base de données importante relative à la canalisation dont 80 % utilisées sont de nature géographique. Ces problèmes de décisions étant d'ordre géographique, le recours au Système d'Information Géographique comme outil d'aide à la décision est impératif pour une meilleure gestion des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation.

Nos travaux menés dans le cadre du thème de recherche intitulé « Contribution à l'étude de l'apport des SIG dans la gestion des risques générés par les canalisations de transport des hydrocarbures en Algérie », se sont intéressés au cas du tracé GK3 qui passe par la wilaya de Guelma sur une longueur de 93Km. Ils ont comme objectif majeur l'étude de la réglementation existante et la possibilité d'introduire le Système d'Information

Géographique comme exigence réglementaire pour les canalisations de transport des hydrocarbures. Vu que les quantités d'information manipulées sont de taille très importantes et que l'objectif de la maîtrise de la prise de décision relativement à ces risques est recherché.

L'utilisation des SIG comme outil d'aide à la décision permet, entre autre :

1. d'évaluer les différentes causes de perte de confinement qui représente l'origine des accidents majeurs pour les canalisations de transport : (Corrosion, tierces parties),
2. de maîtriser le développement urbain autour du tracé de la canalisation en question,
3. d'optimiser le temps et les moyens d'intervention en cas de crise,
4. de maîtriser les feux de forêts.

L'objectif de notre travail a été atteint par une étude approfondie de l'apport des SIG pour la prise de décision dans la gestion (maîtrise) des risques liés au transport des hydrocarbures par canalisation.

Dans ce genre d'étude, il est indispensable d'utiliser l'étude des dangers qui doit permettre, à partir d'une analyse des risques, de définir les mesures préventives induisant une réduction des effets pour chaque risque engendré prenant en compte l'historique des accidents survenus dans le monde du transport des hydrocarbures par canalisation suite à la consultation des différentes bases de données existantes (ARIA , EGIG , CONCAWE, YOKOPA ...etc.) et ainsi la prise en considération des différents textes législatifs régissant ce domaine pour protéger l'homme, le matériel et l'environnement.

L'étude statistique des accidents permettra de définir les scénarii de référence qui seront retenus pour identifier, avec une approche probabiliste, les mesures complémentaires et définir les besoins nécessaires en cas d'intervention, suite à un accident.

Une méthodologie de gestion des risques liés transport par canalisation basée sur les outils d'aide à la décision est proposé pour appréhender la vulnérabilité globale, à travers la vulnérabilité de différentes cibles humaines, matérielles et environnementales.

Sur la base de la méthodologie développée dans ce travail, nous pouvons énoncer les conclusions suivantes :

- L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique comme outils d'aide à la décision, pour le projet GK3, permet, en outre, de réaliser l'étude des différentes

distances que peuvent atteindre les radiations et les surpressions dangereuses pour la santé humaine, ceci constituera une base de connaissance pour les décideurs de l'autorité publique pour une meilleure gestion urbaine (protection de l'homme).

- Le SIG permet, également, la gestion des évacuations en cas d'urgence et ainsi l'optimisation du temps d'intervention pour protéger la population qui se trouve aux alentours.
- Le SIG contribue à proposer de meilleures pratiques pour une bonne exploitation du réseau en termes de surveillance des causes de corrosion, tierces parties, dangers naturels (protection des installations), etc....
- Un autre apport intéressant du SIG permet la délimitation des surfaces qui peuvent être affectées par un éventuel feu de forêt (protection de l'environnement).

Ce travail, étant bénéfique aux responsables de TRC-SONATRACH et aux autorités locales, permettra une meilleure gestion des risques relatifs au transport de gaz sur une distance de 700 Km et facilitera l'évaluation de l'indemnisation des propriétaires de terrains en cas d'expropriation.

Les principales contributions de ce travail, considéré comme une initiation à la recherche, sont les suivantes :

- Proposition d'un enchaînement méthodologique et cohérent justifiant bien la problématique de l'étude sur la base d'une banque de données statistiques très intéressante et d'actualité.
- Proposition d'une nouvelle démarche de gestion des risques liés au transport par canalisation basé sur un modèle d'évaluation des risques très spécifique, en vue d'une gestion intégrée et optimisée de ces derniers.
- Mise en exergue de l'intérêt de la modélisation comme outil d'évaluation des conséquences des risques liés au transport par canalisation.
- Mise en exergue de l'intérêt de la combinaison de la modélisation (utilisation du logiciel professionnel PHAST) et SIG (utilisation du logiciel professionnel ArcGIS) dans la prise de décision relative au domaine de la gestion des risques générés par le transport par canalisation en temps réel.
- Mise en valeur de la précision et de l'importance de la combinaison de la modélisation et des SIG dans l'évaluation des risques de canalisation, en vue de

l'acquisition d'une base de données exhaustive, fiable et précise pour la protection de l'homme, de l'installation et de l'environnement.

Cette étude présente plusieurs perspectives permettant de s'approfondir dans cet axe de recherche dans de futurs travaux, à savoir :

- L'amélioration de la prise de décision relative à la gestion des risques générés par le transport des hydrocarbures par canalisation par la combinaison du SIG avec d'autres techniques : DATA mining technique, les réseaux de neurones, etc.
- L'utilisation des modèles multicritères pour l'amélioration de la planification, de l'inspection et de la maintenance des différentes sections de la canalisation basée sur les catégories de risques (corrosion, mouvement de terrain, inondations et autres).

Bibliographie

- (ADAM, 1999)** ADAM, C. Apport d'un Système d'Information Géographique à la sécurité et à la préservation de l'environnement des réseaux de canalisations enterrées[en ligne]. Société du Pipeline Méditerranée-Rhône,1999,3p. Disponible sur :< le lien : <http://www.spmr.fr/html/main/publications/pdf/apport.pdf>> (consulté le 10décembre 2010).
- (ADNOC, 2005)** ADNOC. Guideline on risk assessment & quantitative risk assessment (QRA).Rapport N° ADNOC-COPV5-03. Abu Dhabi : National Oil Company ,2005,42p.
- (AGHA-CONSULT,2010)** AGHA – CONSULT (Hydra). Projet Gazoduc GK3-48'', Hassi R'mel –Mechtatine, Lots I et II, Juin 2010.
- (ALLOUTI, 2010)** ALLOUTI, M. Étude de la nocivité de défauts dans les canalisations de transport de gaz tels les éraflures, les enfoncements ou leurs combinais[en ligne]. Thèse de Doctorat en mécanique des matériaux. ENIM : Université de Paul Verlaine de Metz, 2010,177p. disponible sur :<<ftp://ftp.scd.univ-metz.fr/pub/Theses/2010/Allouti.Mustapha.SMZ1033.pdf>> (consulté le 20 mai 2011).
- (BEAUDOIN, 1999)** BEAUDOIN, I. &al. Guide de gestion des risques d'accident industriels majeurs à l'intention des municipalités et de l'industrie[en ligne].Montréal : CRAIM-MM, Novembre 1999,121p. Disponible sur :<http://www.acusafe.com/Laws-Regs/International/Montreal_Industrial_Accident_Risk.pdf> (consulté le 10 novembre 2010).
- (BENHAMOUDA OUGRINE, 2009)** & BENHAMOUDA, F., Ougrine, M. Vers un système d'information de gestion des risques, Institut National de cartographie et télédétection. Bulletin des Sciences Géographiques, 2009, N°17, 9p.
- (BERANGER & al, 2006)** BERANGER, S. & al. Utilisation des outils d'aide à la décision dans la gestion des mégasites. Rapport final BRGM/RP-55223-FR. France : BRGM, 2006,116p.
- (BERSANI & al , 2010)** BERSANI, C. &al. Accident occurrence evaluation in the pipeline transport of transport of dangerous goods. 2010, 6p.Dsiponible sur :< <http://www.aidic.it/CISAP4/webpapers/67Bersani.pdf>> (consulté le 4 aout 2011).
- (BOLT, 2006)** BOLT, R. A Guideline "Using or Creating Incident Databases for Natural Gas. Transmission Pipelines". The Netherlands: Amsterdam, 2006, 56p.
- (BOUSOULEM, 2011).** BOUSOULEM, S. Autorité de régulation des hydrocarbures.4ème

- regroupement relatif au programme d'audit ARH, Irara division de production , Hassi Messaoud,2011,21p.
- (BOUVELLE & al, 2008)** BOUVELLE, P. & al. Guide méthodologique « mise en œuvre d'un SIG », Rapport N°2008/02. GESIP : 2008,41p.
- (BRITO & al, 2009)** BRITO, A, J. &al. A multicriteria model for risk sorting of natural gas pipelines based on ELECTRE TRI integrating Utility Theory, European Journal of Operational Research, 2010,200 ,p 812–821.Disponible sur:< <http://www.lgi.ecp.fr/~mousseau/Cours/MCDA/pmwiki-2.2.10/uploads/Main/article2010-2.pdf>>,(consulté le 10 octobre 2010).
- (BRUGEOLLE , 2007)** BRUGEOLLE, S. Petit guide de démarrage sur Arc gis[en ligne]. Université de Laval, 2007,23 p. Disponible sur :< www.cefcfr.ca/uploads/membres/gis.doc> (consulté le 20 mai 2010)
- (BS, 2003)** BS. Petroleum and natural gas industries –pipeline transportation system [en ligne]. BS EN14161:2003. disponible sur < <http://www.cngspw.com/Doc/WebNote/201108/Y2011M08D04H11m01s49/bs20en2014161-200320u77F3u6CB9u548Cu5929u7136u6C14u5DE5u4E1A.pdf>> (consulté le15 janvier 2010).
- (CASSIDY, 1995)** CASSIDY, K. The development, use and release of QRA methodologies for the assessment of major chemical hazards in the UK. UK: HSE executive, 1995, 14p.
- (CHARLOTTE , 2006)** CHARLOTTE, B. Approche probabiliste dans les canalisations de transport. Rapport final N° 64971.Direction des risques accidentels : unité eval, 2006, 56p.
- (CHESNAU, 2004)** CHESNAU, E. Proposition pour une cartographie du risque.2004, CFC Bulletin N°181,16p. Disponible sur :<www.lecfc.fr/new/articles/181-article-6.pdf>. (10 octobre 2010).
- (CHIARA & GIUSEPPE, 2010)** CHIARA, V. Giuseppe, M. Risk Analysis of Natural Gas Pipeline: Case Study of a Generic Pipeline [en ligne]. Chemical engineering transactions, 2011, Volume N° 24, 6 p. Disponible sur:< <http://www.aidic.it/icheap10/webpapers/373Vianello.pdf>> (consulté le 10 février 2011).
- (CROSSHWAITE, 2010)** CROSSHWAITE, P. Corrib onshore pipeline QRA , Report no/DNV Reg N° 01/ 12LKQW5-2, Rev 01.Dublin :DNV,2010,197p.
- (D'ATRI & al, 2009)** D'ATRI, M.F. &al .Improving pipeline risk models by using data mining techniques .2009.In.24th world gas conference,5-9 October, Argentina.2009,7p . Disponible sur :

- <http://www.igu.org/html/wgc2009/papers/woc4.html> (consulté le 15 juin 2011).
- (DAVIS & al, 2010)** DAVIS, P.M. &al, Statistical summary of reported spillages in 2008 and since 1971. Report no. 4/10.Brussels: CONCAWE, June 2010.53p.
- (DAWOTOLA & al, 2010)** DAWOTOLA, A.W. &al. Multi Criteria Decision Analysis framework for risk management of oil and gas pipelines, ESREL Conference , 09/2010, Rhodes, Greece, 2010, 8p.
- (DAWOTOLA & al, 2011)** DAWOTOLA, A.W. &al. Decision Analysis Framework for Risk Management of Crude Oil Pipeline System. Advances in Decision Sciences [en ligne]. 2011, 17p. Disponible sur :< downloads.hindawi.com/journals/ads/2011/456824.pdf> (consulté le 18 janvier 2012).
- (DEBRAY & al , 2006)** DEBRAY, B. &al. Méthode d'analyse des risques générés par des installations industrielles. Rapport N°INERIS-DRA-2006-P46055-CL47569[en ligne]. Verneuil-en-Halatte : INERIS, 2006,140.Disponible sur :< http://www.ineris.fr/centredoc/rapport_omega_7-2.pdf> (consulté le 05 Janvier 2011).
- (DECHY, 2002)** DECHY, N. Recueil de l'accidentologie des canalisations de transport de matières dangereuses. Rapport N° P28658 / DRA-15. INERIS : Direction des Risques Accidentels, Mai 2002,82 p.
- (DE HAAG & ALE , 1999)** De Haag U., dr. B.J.M. Ale, Guideline for quantitative risk assessment 'Purple book' CPR 18E. First edition. Den Haag: Sdu Uitgevers, 1999, 240p. ISBN 90 12 08796 1.
- (DESCOURRIERE, 2006)** DESCOURRIERE, S. &al. Intégration de la dimension probabiliste dans l'analyse des risques. Rapport N°46036.France : INERIS, 2006, 76p. Disponible sur :< http://www.ineris.fr/centredoc/dra34_operation_j_partie1.pdf> (consulté le 18Janvier 2010).
- (DIGARD , 2004)** DIGARD, J, B. Mise en place d'un SIG Pipeline : état des lieux et maquettage. le MANS : Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes, 2004,64p.
- (DNV TEAM, 2005)** DNV TEAM, Analyse des risques technologiques gazoduc, rapport N° 2005-0431. Norway : Veritasvn ,2005.156p.
- (DNV TEAM, 2010)** DNV TEAM. Etude de dangers, unité RHM2, Sonatrach. Rapport N° EP002718 N°3-2,128ZHR8-7.Algérie : DNV, 2010, p 269.
- (DNV TEAM, 2010)** DNV TEAM. Etude dangers, unité CIS, Sonatrach. N° Rapport EP002718 N°3-6 – CIS. Algérie : DNV, Décembre 2010,242p.
- (DROBNE & LISEC, 2009)** DROBNE, S., LISEC, A. Multi-attribute Decision Analysis in GIS: Weighted Linear Combination and Ordered Weighted Averaging [en ligne]. Informatica, 2009, N°33, p 459–474.Disponible sur :< http://www.informatica.si/PDF/33-4/13_Drobne%20-%20Multi-

- attribute%20decision%20analysis%20in%20GIS...pdf> (consulté le 20 janvier 2011).
- (DUPONT, 1998)** Dupont, J. & al. Utilisation des outils numériques d'aide à la décision pour la gestion de l'eau. Revue des sciences de l'eau[en ligne]. 1998, N° spécial, p 5-18). disponible sur :<
http://www.rse.inrs.ca/art/volume11/v11nS_5.pdf> (consulté le 30 juin 2010).
- (DZIUBINSKI & al, 2006)** DZIUBINSKI, M. &al. Aspects of risk analysis associated with major failures of fuel pipelines. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2006, 19, p399–408.
- (EGIG TEAM, 2008)** EGIG Team.7th report 1970 – 2007, Gas Pipeline Incidents. Report N° 08.TV-B.0502. N.V. Nederlendse Gasunie: EGIG, December 2008, 33p.
- (ESRIFRANCE, 2011)** ESRIFRANCE. ArcGIS Spatial Analyst. MEUDON: Esri, 2011,4p. Disponible sur :<
http://www.esrifrance.fr/iso_album/spatial_remap_10051e.pdf> (consulté le 10 Juin 2011).
- (G.ENV, 2009)** G.ENV. Etude de danger, Sonatrach/TRC gazoduc GK3, 48'' Hassi R'mel–Skikda-Elkala, lot 3.Rapport N° 0000-ZA-E-85061.Algerie: Sonatrach, 2009, 766p.
- (HEIRMAN , 2009)** HEIRMAN, J.P. Handbook failure frequencies for drawing up a safety report [en ligne]. Brussels: The Flemish Government Environment, Nature and Energy Department Environment, Nature and Energy Policy Unit, Safety Reporting Division, 2009, 87p. Disponible sur:
 <http://www.lne.be/themas/veiligheidsrapportage/rlbvr/bestanden-rlbvr/tr/vr_rlbvr_rl_hbff_background_information_EN.pdf> (consulté le 10 mars 2010).
- (IGS, 2010)** IGS, Industrie Gazière Suisse, Sécurité des installations de gaz à haute pression, Rapport-cadre de l'estimation de l'ampleur des dommages et de l'étude de risque standardisées, Révision 2010.
- (KASMIA, 2004)** KASMIA, F. Apport des systèmes d'informations géographiques dans la gestion du réseau de transport des hydrocarbures, 1ères journées nationales sur le traitement, le stockage, le transport et la distribution des hydrocarbures ,19 et 20 octobre 2003, Hôtel Mazafran, Alger, 2003 ,12p .
- (LAKHOUA , 2007)** LAKHOUA, M.N. Utilisation du SIG dans une entreprise industrielle pour l'analyse et la prise de décision, Pré-publication de l'Université du 7 Novembre de Carthage, Tunisie [en ligne]. 2007,6p. Disponible sur :<
<http://www.unicaen.fr/puc/ecrire/preprints/preprint0472007.pdf>> (consulté le 05 mai 2011).
- (LARA, 2009)** LARA, E. F. Gis as tool to assess pipeline integrity, Transportadora

- de Gas del Sur S.A.2009.In.24th world gas conference, 5-9 october, Argentina.2009, 10p. Disponible sur:<
<http://www.igu.org/html/wgc2009/papers/woc4.html> > (consulté le 15juin 2011)
- (LEIR & REED, 2002)** LEIR, M., REED, M. Natural Hazard Database Application – A Tool for Pipeline Decision Makers.2002.In. 4th International Pipeline Conference, September 29–October 3, Calgary, Alberta, Canada ,2002 ,7 pages. Disponible sur :<
http://www.bgcengineering.ca/files/publications/MCL_IPC_2002_Geohazards_Database.pdf> (consulté 20juin 2011).
- (LEPINARD, 2008)** LEPINARD, P. L’outil zone tampon, Bagneux : GeoConcept, 2008.38p
- (MARTIN, 2004)** MARTIN, P. Géomatique et géographie de l’environnement de l’analyse spatiale à la modélisation prospective[en ligne]. Toulouse de Mirail : Département de géographie et Aménagement, 2004. 211p. Disponible sur :<
<http://w3.geode.univ-tlse2.fr/modelisation/publications/HDR-tome1.pdf>> (consulté le 20 juin 2010).
- (MEDD , 2011)** MEDD.ARIA [en ligne]. Juin 2001.Disponible sur :< MEDD MEDD, <http://www.aria.developpementdurable.gouv.fr/>> (consulté le 10 décembre 2011).
- (MICHEL, 2012)** MICHEL, L. les objectifs 2012 et le bilan 2011 de l’inspection des installations classées .Paris : Ministère de l’écologie, Du développement durable, des transports et du logement, 2012,48p.
- (MUHLBAUER, 2004)** MUHLBAUER,W.K. Pipeline risk management manual. 3rd edition. Paris : Elsevier Inc , 2004,395p. ISBN: 978-0-7506-7579-6.
- (ONS, 2011)** ONS. Office nationale des statistiques [en ligne]. (date de mise à jour 25 septembre2011) .Disponible sur :<www.ons.dz> (consulté le 10 décembre 2011).
- (OPS TEAM , 1999)** OPS TEAM. A Collaborative Framework for Office of Pipeline Safety Cost-Benefit Analyses. U.S. Department of Transportation: Office of Pipeline Safety, 1999, 54p.
- (PELLISSIER , 2001)** PELLISSIER, V. Problème du choix d’une stratégie de réduction du risque[en ligne]. Lausanne : Ecole poly technique fédérale, 2001,10p. Disponible sur :<
<http://ibeton.epfl.ch/Person/anciens/Pellissi/articles/r&s.pdf>> (consulté le 17 février 2011).
- (PENELON, 2008)** PENELON, T. La modélisation aérienne Mécanismes de dispersion et simulation. 13ème journée d’information du Cèdre, pollutions accidentelles par substances dangereuses. Verneuil-en-Halatte : INERIS, 2008,29p. Disponible sur :<

- http://www.cedre.fr/fr/publication/colloque/2008/4penelon_fr.pdf
> (consulté le 03 mai 2010).
- (PLANTIER, 2009)** PLANTIER, V.L'Information Géographique[en ligne]. Moselle : DEAT- DDTM, 2009,6p. Disponible sur :<
www.cg57.fr/SiteCollectionDocuments/Profils/Collectivites_SIG.pdf
> (consulté le 13 mai 2011).
- (RAFFESTIN, 1996)** RAFFESTIN, D. Analyse des données accidentelles pour le transport de matières dangereuses par routes. Rapport N° 246. Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire, Juillet 1996, 64p.
- (RAVALET PANET, 2001)** & RAVALET, S. PANET, I. Vademecum du chef de projet SIG. Marne la Vallée : ENSG-IGN, janvier 2001,48p.
- (SOURIS, 2002)** SOURIS, M. La construction d'un système d'information géographique, principes et algorithmes du système SAVANE [en ligne]. Thèse de Doctorat, Université de La Rochelle, 2002,511p. Disponible sur :<
<http://www.rsgis.ait.ac.th/~souris/publi/ouvrage.pdf>> consulté le 10 juin 2011).
- (SGG ALGÉRIE, 2012)** SGG Algérie. Secrétariat Général du Gouvernement-journal officiel[en ligne]. Disponible sur :<
<http://www.joradp.dz/HAR/Index.htm>> (consulté le 15 juillet 2012)
- (SWISS UNIVERSITY, 2011)** Swiss university, Geographic Information Technology Training Alliance [en ligne]. (modifié en 2011) .Disponible sur :<<http://www.gitta.info>> (consulté le 25 avril 2011)
- (THEBERGUE , 2002)** THEBERGUE , M.C. Analyse de risques d'accidents technologiques majeurs[en ligne].Ministère de l'Environnement Direction des évaluations environnementales :Québec, 2002, 54p. Disponible sur :<www.mddep.gouv.qc.ca/evaluations/documents/guide-risque-techno.pdf> (consulté le 25 juin 2010).
- (TRC, 2006)** TRC, Transport par canalisation [En ligne]. 2006. Disponible sur <
lien : www.mem-algeria.org/actu/comn/pubt/Presentation_TRC.pdf>
(consulté le 4 mars 2011).
- (UMBEHR, 2001)** UMBEHR, T .Conception et développement d'un SIG pour le département de l'assainissement environnemental du ministère de la santé publique du Salvador (Amérique Centrale).Géomatique. Lausanne : Ecole polytechnique fédérale, 2001,40p.
- (URBANI, 2006)** URBANI, D. Elaboration d'une approche hybride SMA-SIG pour la

définition d'un système d'aide à la décision ; application à la gestion d'eau. [en ligne] Thèse de doctorat en informatique .Corse : Ecole doctorale environnement et société, 2006,155p. Disponible sur :<<http://hal-univ-corse.archives-ouvertes.fr/docs/00/13/61/06/PDF/TheseURBANI.pdf>> consulter le 20 mai 2011)

- (VALIN & al, 2008a)** VALIN, L. & al .Guide méthodologique pour la réalisation d'une étude de sécurité concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquide ou liquéfiés, gaz combustible et produits chimiques). Rapport N° 2008/01.GESIP : 2008, 76 p.
- (VALIN & al, 2008b1)** VALIN, L. &al. Canalisations de transport « Dispositions compensatoires », Rapport N°2008/02. GESIP : 2008, 22 p
- (VAN DRIESSCHE & BERNAERT, 2010)** VAN DRIESSCHE, P & BERNAERT, T. Introduction au Quantitative Risk Assessment, DNV, 2009, 168p.

ANNEXES

Annexe I

Glossaire des termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivantes sont nécessaires pour mieux comprendre la terminologie utilisée :

- **Canalisation de transport**

Est appelé canalisation l'ouvrage constitué d'une ou plusieurs conduites desservant un ou plusieurs terminaux et pouvant comprendre une ou plusieurs stations de pompage.

- **Tronçon et section**

Un tronçon est un élément de canalisation ou un ensemble d'éléments de canalisation de caractéristiques homogènes assemblés bout à bout. Une section est constituée d'au moins un tronçon de canalisation limité par deux organes d'isolement ;

- **Accessoires**

Éléments des canalisations tels que les pièces de forme, la robinetterie, les gares de racleurs, les appareils de régulation ou de comptage, les brides, les porte-diaphragmes, les tuyères, les accessoires de sécurité.

- **Dispositions compensatoires**

Des aménagements (balisage renforcé, pose de dalles en béton, par exemple), des dispositions de construction ou de pose (surépaisseur de métal indépendamment de celle nécessitée par la catégorie d'emplacement de la canalisation, sur profondeur, création de talus, par exemple), des mesures d'exploitation et d'information (surveillance renforcée, réduction de la pression maximale en service, information des riverains, information des entreprises susceptibles d'effectuer des travaux à proximité des canalisations, par exemple) spécifiques destinés à diminuer le risque d'atteinte à la sécurité des personnes et des biens et à la protection de l'environnement et soumise à ce titre à l'approbation du service chargé du contrôle.

- **Point singulier**

Point de l'ouvrage se distinguant de la situation courante "canalisation enterrée" (traversées aériennes...) et présentant un risque différent du tracé courant.

- **Scénario d'accident**

Enchaînement d'événements choisis parmi différents phénomènes physiques susceptibles de se produire compte tenu de la nature de la brèche dans la canalisation, du fluide et de ses conditions de transport, et de l'environnement avoisinant.

- **Scénario de référence**

Scénario d'accident établi à partir du choix d'une brèche de référence et d'un enchaînement de conséquences possibles.

- **Scénario de référence initial**

Sans justification spécifique, le scénario de référence initial sera le scénario de rupture totale. Dans l'étude de sécurité, le transporteur pourra retenir un autre scénario de référence basé sur le retour d'expérience.

- **Segment**

Tronçon de canalisation pour lequel sont retenues sur toute sa longueur les conditions les plus défavorables existantes en termes de gravité d'une part et de probabilité d'autre part (construction, environnement...).

- **Tracé courant**

Ensemble de l'ouvrage à l'exclusion des points singuliers et des installations annexes (partie enterrée et hors sites clos de l'ouvrage).

- **Zone d'effets**

Les effets calculés des scénarios de référence sont traduits en distance par rapport à la canalisation à partir des seuils d'effets des phénomènes dangereux redoutés définis par la réglementation.

- **Système**

Le mot Système provient du grec sustêma qui signifie "ensemble cohérent". Plusieurs définitions peuvent en être données et nous retiendrons ici - la définition "large" donnée par Jacques Lesourne : Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique.- la définition "étroite" donnée par Joël de Rosnay : Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but. Cette définition met l'accent sur la finalité ou le but poursuivi par le système

- **Donnée :**

Les données sont des faits qui n'ont pas encore été traités et dont on ne peut, à ce stade, tirer aucun enseignement.

- **Information :**

C'est une donnée qui a un sens, et ce sens vient d'un certain modèle d'interprétation. Une même donnée peut avoir plusieurs sens selon le modèle d'interprétation qui lui est associé donc, les informations sont des données traitées ou transformées qui aident quelqu'un à prendre une décision ou à tirer des conclusions

Information = Donnée + Modèle d'interprétation.

- **Base de données :**

Une base de données (son abréviation est BD, en anglais DB, database) est une entité dans laquelle il est possible de stocker des données de façon structurée et avec le moins de redondance possible. Ces données doivent pouvoir être utilisées par des programmes, par des utilisateurs différents. Ainsi, la notion de base de données est généralement couplée à celle de réseau, afin de pouvoir mettre en commun ces informations, d'où le nom de base. On parle généralement de système d'information pour désigner toute la structure regroupant les moyens mis en place pour pouvoir partager des données.

- **Système de gestion de base de données (SGBD):**

Le SGBD est un ensemble de services (applications logicielles) permettant de gérer les bases de données, c'est-à-dire :

- permettre l'accès aux données de façon simple ;
- autoriser un accès aux informations à de multiples utilisateurs ;
- manipuler les données présentes dans la base de données (insertion, suppression, modification)

Le SGBD peut se décomposer en trois sous-systèmes :

- le système de gestion de fichiers : il permet le stockage des informations sur un support physique ;
- le SGBD interne : il gère l'ordonnancement des informations ;
- le SGBD externe : il représente l'interface avec l'utilisateur.

- **Systèmes d'information :**

Un système d'information (SI) est un ensemble organisé de ressources (matériels, logiciels, personnel, données et procédures) qui permet de regrouper, de classer, de traiter et de diffuser de l'information sur un phénomène donné.

- **Donnée géographique :**

La donnée est géographique dès lors qu'elle est localisable directement par des coordonnées, ou indirectement par des données littérales de type adresse, numéro de commune, numéro de borne kilométrique, code postal, numéro de parcelle cadastrale.

- **Information géographique,**

L'information géographique est une information ayant une référence au territoire, soit sous la forme :

- De coordonnées
- De nom de lieu
- D'adresse postale ou autre.

- **Géomatique :**

C'est la science et la technologie de la collecte, de l'analyse, de l'interprétation, de la distribution et de l'utilisation de l'information géographique. Elle englobe une foule de disciplines qui concourent à créer une représentation détaillée, mais compréhensible du monde physique et de l'espace que l'homme y occupe. Ces disciplines sont :

- les levés et la cartographie;
- la télédétection;
- les systèmes d'information géographique (SIG);
- le système de positionnement global (GPS)

Annexe II :

Etape de réalisation de la modélisation (canalisation GK3) par le Logiciel PHAST

A/ Première étape : caractéristique du produit transporté

- **Produit** : Méthane (82,97 % du gaz transporté).
- **Volume** : Le volume étudié dans ce travail concerne le tronçon entre deux vannes de sectionnement qui est d'une longueur de 10000 m. car s'il ya un percement ou rupture de la canalisation un volume du gaz sera piégé entre ces vannes de sectionnement qui se ferment dans un temps de 60 secondes .donc le volume de gaz qui sera libéré est :

$$V_{\text{gaz}} = \text{Surface} \times \text{Longueur}$$

$$= (3,14 \times (1,2/2)^2) \times 10000 \quad (3,14 \times (1,2/2)^2 \times 10000)$$

$$= 11\,304 \text{ m}^3$$

- **Conditions du process** :

Température: 55°C

Pression: 71

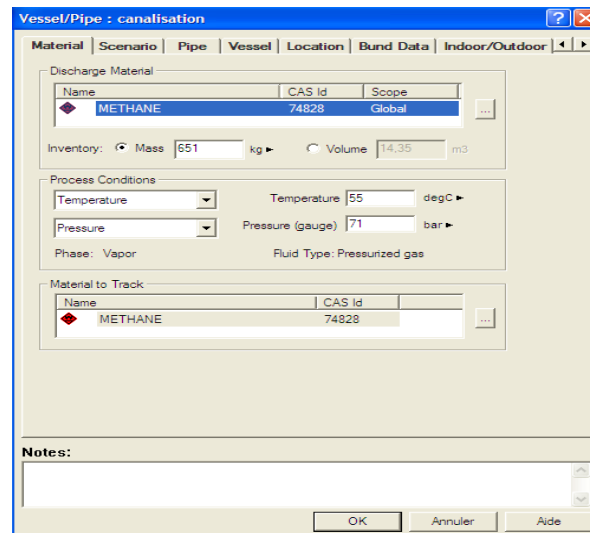


Fig. (AII.1): Données du méthane retenues pour la modélisation par PHAST.

B/ Deuxième étape : le choix du Scénario

Parmi les scénarii existants : long pipeline (canalisation longue) qui représente le cas de notre étude.

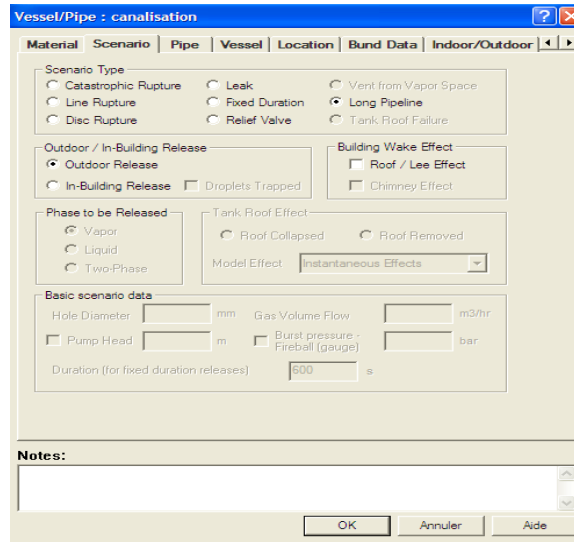


Fig. (AII.2): Scénario retenu pour la modélisation par PAHST.

C/ Troisième étape :

Introduction des caractéristiques de la canalisation et ainsi le scénario choisi pour la modélisation de la rupture (long pipeline modèle) et l'emplacement des vannes de section ainsi que le temps de la fermeture de ces vannes après détection de la rupture.

Les données de calcul pour cette étape sont :

$$\text{Diamètre interne} = \text{Diamètre nominal} - 2 \times \text{Épaisseur}$$

$$= 1219 - 23.96$$

$$= 1195,26 \text{ mm}$$

$$\text{Débit massique (Kg/s)} = 1915709 / 3600$$

$$= 532,14 \text{ Kg/s}$$

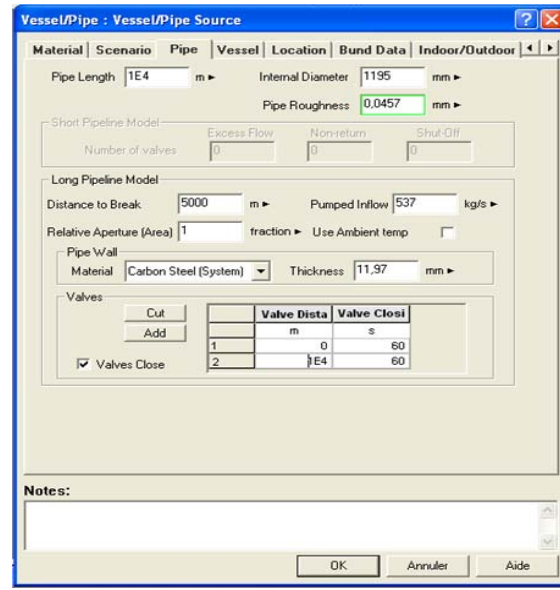


Fig. (AII.3): données de la canalisation retenue pour la modélisation par PHAST.

D/ Quatrième étape

Le choix des effets des conséquences se base sur des normes et de la législation.

- Seuils de références pour les effets thermiques

Tab. (AII.1): Seuil de référence pour les effets de radiations

Seuils de références	
Seuil pour les effets sur l'homme	
2,5 Kw/m ²	L'accident peut affecter des personnes sensibles ou non averties
6,4 Kw/m ²	Conséquences graves, directes ou indirectes, immédiates ou à long terme
10 Kw/m ²	1% de létalité après 20 secondes pour des personnes non protégées
12,5 Kw/m ²	Conséquences irréversibles ou létales, même à courte exposition
Seuil pour les effets sur la construction	
8 Kw/m ²	Dégât ou installations non protégées
32 Kw/m ²	Dégât aux installations protégées opérant à pression atmosphérique
44 Kw/m ²	Dégât aux installations protégées opérant sous pressions

- Seuils de références pour les effets de surpression

Tab. (AII.2): Seuil de référence pour les effets de surpression.

Seuils de références	
Seuil pour les effets sur l'homme	
25 mbar	Dommmages graves
50 mbar	Dommmages irréversibles ou létaux
Seuil pour les effets sur la construction	
160 mbar	Dégât aux structures
300 mbar	Dégâts graves aux structures

Afin de couvrir tous les dégâts qui puissent survenir lors de l'apparition des phénomènes. Nous avons choisi des seuils de références indiqués ci-dessous :

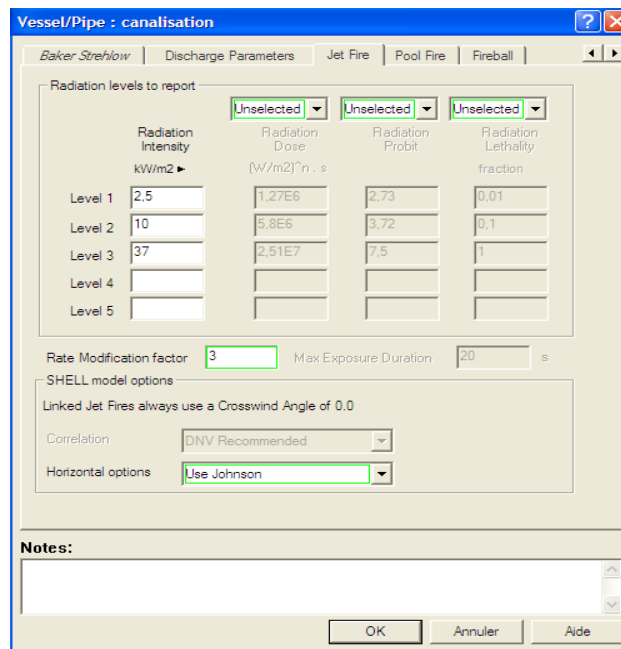


Fig. (AII.4): seuil de radiations retenues pour la modélisation par PHAST.

- **Données météorologiques**

Concernant la vitesse des vents on prend la moyenne des vitesses enregistrées durant l'année, et ce, comme suit :

$$\mathbf{V_{moy}} = (V1+V2..... + V12)/12$$
$$=1,9 \text{ m/s}$$

$$\mathbf{T_{moy}} = (T1+T2..... + T12)/12$$
$$=17,84 \text{ m/s}$$

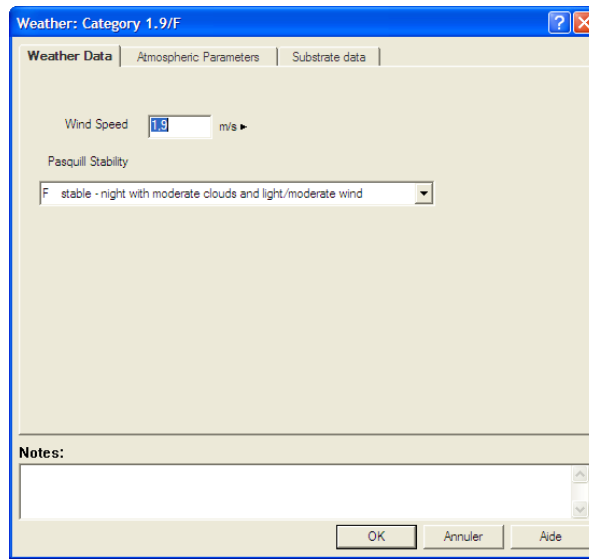


Fig. (AII.5): Données météorologiques retenues pour la modélisation par PHAST.

